PROBLEME DER WASSERVERSORGUNG, ABWASSERREINIGUNG, ABFALLSTOFFBESEITIGUNG UND LUFTREINHALTUNG IN DER CHEMISCHEN INDUSTRIE UNTER BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG IHRER RAUMWIRKSAMKEIT. DARGESTELLT AM BEISPIEL DER BADISCHEN ANILIN- & SODA-FABRIK AG, LUDWIGSHAFEN AM RHEIN

INAUGURAL-DISSERTATION

zur

Erlangung des Grades eines Doktors

der Wirtschaftswissenschaften

am Fachbereich Wirtschaftswissenschaften

der Freien Universität Berlin

vorgelegt von

Dipl.-Kfm. Hans-Jürgen Geßner

aus Erfurt

Berlin 1970

1971

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547205_0002

PROBLEME DER WASSERVERSORGUNG, ABWASSERREINIGUNG, ABFALLSTOFFBESEITIGUNG UND LUFTREINHALTUNG IN DER CHEMISCHEN INDUSTRIE UNTER BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG IHRER RAUMWIRKSAMKEIT. DARGESTELLT AM BEISPIEL DER BADISCHEN ANILIN- & SODA-FABRIK AG, LUDWIGSHAFEN AM RHEIN

INAUGURAL-DISSERTATION

zur

Erlangung des Grades eines Doktors

der Wirtschaftswissenschaften

am Fachbereich Wirtschaftswissenschaften

der Freien Universität Berlin

vorgelegt von

Dipl.-Kfm. Hans-Jürgen Geßner

aus Erfurt

Berlin 1970

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Vorsitzender des Fachbereichsrats: Professor Dr. Gerold Krause - Junk

Referent: Professor Dr. Karl Christian Behrens

Korreferent: Professor Dr. Arthur Kühn

Tag der mündlichen Prüfung: 19. 2. 1971

Gliederung

	Seite
0 Einführung	13
1 Regionalwirtschaftliche Ausgangssituation	20
1.1 Eingliederung in das betriebswirtschaftliche Standortproblem	20
1.2 Technisch-wirtschaftliche Rahmenbedingungen des Untersuchungsobjekts	23
2 Die Wasserversorgung des Chemiebetriebes	28
2.1 Das Wasseraufkommen in der Chemischen Industrie	28
2.11 Anteil der Chemischen Industrie am gesamtindustriellen Wasseraufkommen	28
2.12 Regionale und betriebliche Begrenzung des Untersuchungsobjekts	31
2.2 Kategorien des chemiebetrieblichen Wasserbedarfs und die Möglichkeiten seiner Deckung	36
2.21 Überblick	36
2.22 Kühlwasserversorgung	39
2.221 Reinwasseranforderungen	39
2.222 Rohwasseranalyse des Flußwassers	43
2.223 Gewinnung und Aufbereitung des Flußwassers	47
2.224 Betriebliche Schwierigkeiten bei der Flußwasserversorgung	53
2.23 Kesselspeisewasserversorgung	58
2.231 Reinwasseranforderungen	58
2.232 Rohwasseranalyse des Grundwassers	60
2.233 Gewinnung und Aufbereitung des Grundwassers (Kesselspeisewasseraufbereitung)	66
2.24 Versorgung mit sonstigem Fabrikationswasser	69
2.25 Versorgung mit Belegschaftswasser	72

2.3 Rationalisierung der chemiebetrieblichen Wassernutzung 74

2.31 Zur Rationalisierbarkeit der chemiebetrieblichen Wasserkategorien 74

2.32 Wassereinsparung, Wasserkreislauf, Luftkühlung 78

2.4 Kosten der chemiebetrieblichen Wasserversorgung 86

3 Die Abwasserreinigung im Chemiebetrieb 92

3.1 Die Gesamtableitung von Wasser in der Chemischen Industrie 92

3.11 Anteil der Chemischen Industrie an der industriellen Gesamtableitung von Wasser 92

3.12 Regionale und betriebliche Begrenzung des Untersuchungsobjekts 95

3.2 Die Zusammensetzung des chemiebetrieblichen Abwassers und sein Einfluß auf die Umwelthygiene 96

3.21 Kategorien des chemiebetrieblichen Abwassers 96

3.22 Bestimmungsfaktoren der umwelthygienischen Einflußnahme durch Chemieabwässer 101

3.221 Analytische Charakteristika 101

3.222 Lokale Entwässerungsmöglichkeiten 105

3.23 Abwasserlast und Gewässerschutz 107

3.3 Möglichkeiten und Grenzen der chemiebetrieblichen Abwasserreinigung 119

3.31 Herkömmliche Reinigungsverfahren 119

3.32 Rationalisierung der Abwasserreinigung 124

3.321 Überblick 124

3.322 Entlastung des örtlichen Vorfluters durch Transport von Schadstoffen in das offene Meer 126

3.323 Abwassertechnische Sanierung durch Verfahrensumstellung 129

3.324 Verbesserung der Abwasserverhältnisse durch wasserwirtschaftliche Kooperation mit der Gebietskörpers haft 136

3.3241 Behandlung des Abwassers in einer Gemeinschaftskläranlage nach dem Belebungsverfahren 136

3.3242 Neuordnung des chemiebetrieblichen Kanalnetzes 150

3.4 Kosten der chemiebetrieblichen Abwasserreinigung 158

4 Die Abfallstoffbeseitigung im Chemiebetrieb 167

4.1 Müllanfall und technische Entwicklung 167

4.11 Begrenzung des Untersuchungsobjekts 167

4.12 Zur Erfassung des kommunalen und industriellen Müllaufkommens und der Müllzusammensetzung 168

4.13 Kategorien chemiebetrieblicher Abfallstoffe 172

4.2 Möglichkeiten und Grenzen der Abfallstoffbeseitigung im Chemiebetrieb 175

4.21 Überblick 175

4.22 Abfallstoffbeseitigung durch Verbrennen 177

4.221 Abfallerfassung und -sammlung 177

4.222 Zum Betrieb von Müllverbrennungsanlagen 179

4.23 Abfallstoffbeseitigung durch Ablagern 186

4.231 Abfallerfassung und -sammlung 186

4.232 Abfallablagerung und Umweltschutz 190

4.233 Zur Durchführung der geordneten und kontrollierten Ablagerung chemieindustrieller Abfallstoffe 195

4.3 Kosten der chemiebetrieblichen Abfallstoffbeseitigung 200

5 Die Luftreinhaltung im Chemiebetrieb 203

5.1 Zusammensetzung und Umwelteinfluß chemiebetrieblicher Abluftkomponenten 203

5.11 Betriebsabhängige Bestimmungsfaktoren der Luftverunreinigung 203

5.111 Chemiebetriebliche Emissionsarten 203

5.112 Umwelthygienische Belastungseffekte 205

5.12 Standortabhängige Bestimmungsfaktoren der Luftverunreinigung 212

5.121 Immissionsbelastung industrieller Ballungsräume 212

5.122 Meteorologische Parameter 215

5.2 Möglichkeiten und Grenzen der chemiebetrieblichen Luftreinhaltung 216

5.21 Überblick 216

5.22 Luftreinhaltung durch Verfahrensumstellung 217

5.23 Luftreinhaltung durch Abgasreinigung 222

5.24 Chemiebetriebliche Überwachung der Abluftsituation 229

5.3 Kosten der chemiebetrieblichen Luftreinhaltung 236

6 Zusammenfassung 240

7 Anhang 247

8 Literaturverzeichnis 263

VERZEICHNIS DER TABELLEN UND ABBILDUNGEN

D = Diagramm, KÜ = Kartographische Übersicht, S = Schema, T = Tabelle, WF = Werkfoto.

Lfd. Nr.	Art der Darstellung	Gegenstand	Seite
1	S	Bestimmungsgründe für die betriebliche Standortwahl	21
2	KÜ	Situationsplan aus der Gründungszeit der BASF (Beilage zur Konzessionsurkunde v. 8.5.1865)	23
3	KÜ	Der Rhein bei Mannheim mit Friesenheimer Durchstich (Stahlstich um 1850)	25
4	WF	Werk Ludwigshafen (Gesamtansicht, Luftaufnahme)	26
5	T	Technisch-wirtschaftliche Daten zum BASF-Werk Ludwigshafen	27
6	D	Anteil der Chemischen Industrie am gesamten und industriellen Wasseraufkommen der Bundesrepublik	30
7	D	Das Wasseraufkommen der Industrie nach Industriezweigen 1965	32
8	D	Anteil der Chemischen Industrie am industriellen Wasserverbrauch der Bundesländer 1965	34
9	T	Anteil der BASF am Wasseraufkommen der Chemischen Industrie in Rheinland-Pfalz und im Bundesgebiet	35
10	T	Spezifischer Wasserverbrauch von drei chemischen Massenprodukten	37
11	T	Verwendungsbereiche der betrieblichen Wassernutzung	38
12	T	Quellen der betrieblichen Wasserversorgung	40
13	T	Abflußspenden des Rheins 1936 - 1965	44
14	T	Chemisch-physikalische Wasseruntersuchung (Rheinwasser, Einlaufwerk BASF Süd)	45

15	T	Einlauf- und Filterkapazitäten der werkseigenen Wasserwerke der BASF	48
16	S	Wasserwerk Mitte der BASF (Druckfilteranlage)	49
17	WF	Druckfilterwasserwerk Mitte	50
18	D	Feststoffgehalt im Roh- und Reinwasser (1956)	51
19	T	Feststoffgehalt des Roh- und Reinwassers (Druckfilterwerk Mitte)	51
20	D	Flußwasserförderung der BASF	52
21	WF	Biologischer Rasen in Kiesfiltern	53
22	WF	Verschlammte Luftpolsterrohre (Druckfilterwerk Mitte)	54
23	WF	Gereinigte Luftpolsterrohre (Druckfilterwerk Mitte)	54
24	WF	Verschlammter Kondensator	54
25	WF	Verschlammter Kondensator (Ausschnitt)	54
26	T	Hauptzahlen zu den Wasserständen des Rheins	56
27	D	Flußwasserförderung der BASF und Wassertemperatur des Rheins	57
28	T	Anforderungen an vollentsalztes Wasser (BASF)	59
29	T	Analytische Gegenüberstellung von Rhein- und Grundwasser	62
30	T	Na^+Cl^- - Gehalt des Rheinwassers	63
31	T	Chemisch-physikalische Wasseruntersuchung (Brunnenwasser Rheinvorland/Edigheimer Galerie, BASF)	64
32	D	Grundwasserförderung der BASF	65
33	S	Kesselspeisewasserreinigung (BASF)	67
34	D	Anteil der BASF am Trinkwasserverbrauch der Stadt Ludwigshafen a. Rh.	73

35	D	Entwicklung des spezifischen Belegschaftswasserbedarfs der BASF	76
36	WF	Ventilatorkühlturm	79
37	S	Kühlwasserkreislauf bei Verwendung eines Kühlturms	80
38	S	Mengenstrom des Flußwassers in der BASF 1968	82
39	WF	Kühlwasser-Rückkühlung mit Ventilatoren	83
40	D	Flußwasserverbrauch und Umsatzsteigerung der BASF	85
41	D	Entwicklung der BASF-Verrechnungspreise für Flußwasser	87
42	T	Kosten der Kesselspeisewasseraufbereitung (BASF)	88
43	T	Wirtschaftlichkeitsberechnung petrochemischer Grundstoffe aus C_4-Crackschnitten (BASF)	90
44	D	Gesamtableitung von Wasser durch die Chemische Industrie der BRD 1965	94
45	T	Wasserführung der BASF-Abwasserkanäle	97
46	T	Anteil der BASF an der Gesamtableitung von Wasser durch die Chemische Industrie der BRD	99
47	T	Verschmutzung des mittleren Abwassers einer deutschen Stadt	102
48	T	Organische Verunreinigungen des BASF-Abwassers	104
49	T	Öffentliches Abwasserwesen der BRD 1963	109
50	T	Anteil der BASF an der zusätzlichen Belastung des Rheins mit BSB_5 - Einwohnergleichwerten im Rhein-Neckar-Raum	118
51	WF	Absetzbecken	120
52	T	Grenzwerte der noch zulässigen Konzentrationen für Giftstoffe im Trinkwasser und gewerblichen Abwasser	122

53	T	Wasserrechtlicher Bescheid der Bezirksregierung der Pfalz zur Abwassereinleitung der BASF in den Rhein v. 25.9.1964	125
54	T	Verschiffung von Abfallsäuren in das offene Meer	128
55	T	Zusammensetzung der Chlorcalciumendlaugen von Ammoniaksodafabriken	131
56	T	Abwasseranfall und -zusammensetzung bei der Äthylenoxid-Herstellung	134
57	WF	Äthylenoxid-Anlage (Direktoxidation, Kapazität 40 000 jato)	135
58	S	Folgeprodukte der Cyclohexanoxidation	137
59	T	Sauerstoff-Bedarf bei der Reinigung verschiedener Mischabwässer der Chemischen Industrie	142
60	T	Einfluß des pH-Wertes auf die biologische Abwasserreinigung	144
61	T	Schädlichkeitsgrenzen für toxische Substanzen bei der biologischen Abwasserreinigung (Belebungsverfahren)	146
62	S	Gemeinschaftskläranlage BASF/Stadt Ludwigshafen a. Rh. (Fließschema der Abwasserbehandlung (Sankey) für Trockenwetterabfluß)	148
63	KÜ	Vorhandenes Mischwasserkanalnetz der BASF	151
64	KÜ	Projektierte Trennkanalisation der BASF	152
65	WF	Abwasser-Sammelkanal (Plattenbauweise)	153
66	WF	Abwasser-Sammelkanal (Vorpreßverfahren, Arbeiten vor Ort)	154
67	S	Querschnitt einer Werkstraße der BASF	155
68	WF	Abwasser-Sammelkanal (Vorpreßverfahren)	156
69	WF	Abwasser-Sammelkanal (Vorpreßverfahren, Hauptpreßgrube)	157
70	T	Gesamtkosten der Gemeinschaftskläranlage BASF/Stadt Ludwigshafen a. Rh.	160

71	T	Abwasserreinigungskosten der BASF	161
72	T	Investitions- und Betriebskosten von biologischen Kläranlagen der Chemischen Industrie	162
73	T	Sonderabschreibungen für Maßnahmen der BASF zur Abwasserreinigung	165
74	T	Müllaufkommen in der BRD	168
75	T	Durchschnittliche Zusammensetzung des Westberliner Hausmülls	171
76	T	Abfallstoffe der BASF	174
77	T	Grenzwerte der Eigenschaften von festen Abfällen	178
78	WF	Müllverbrennungsanlage (Tanklager für Flüssigabfälle)	179
79	S	Müllverbrennungsanlage der BASF (Rostofen)	180
80	WF	Müllverbrennungsanlage (Gesamtansicht)	181
81	T	Heizwert-Mittelwerte und Volumenverminderung bei der Verbrennung von BASF-Festmüll	182
82	S	Müllverbrennungsanlage der BASF (Drehrohrofen)	183
83	KÜ	Geographische Lage der BASF-Mülldeponien "Flotzgrün" und "Feuerberg"	187
84	WF	Müllsammelplatz Werk Ludwigshafen	188
85	WF	Müllsammelplatz Werk Ludwigshafen (Umschlag auf Schubschiff)	189
86	T	Auslaugungs- und Lösungsvorgänge in Mülldeponien	192
87	T	Einfluß der Landwirtschaft auf die Grundwasserqualität im Regierungsbezirk Pfalz	193
88	WF	Deponie Flotzgrün (Müllumschlag)	195
89	WF	Deponie Flotzgrün (Bepflanzte Deponiefläche)	196

90	WF	Deponie Flotzgrün (Deponiearbeiten)	197
91	T	Ablagerung von Abfallstoffen auf der BASF-Deponie Flotzgrün	199
92	T	Spezifische Kosten und Dampfgutschrift der BASF-Müllverbrennung 1968	201
93	T	Abfallstoffbeseitigungskosten der BASF	202
94	T	Kritische Konzentrationswerte luftverunreinigender Immissionsarten	206
95	D	Einfluß von SO_2 auf die menschliche Gesundheit	208
96	D	Schädigung von Pflanzen durch SO_2	209
97	T	Zugelassene Kraftfahrzeuge in Ludwigshafen a. Rh. und Mannheim	214
98	T	Windgeschwindigkeiten in deutschen Großstädten	215
99	T	Verminderung der SO_2-Emission durch Verfahrensänderung bei der Schwefelsäureherstellung	218
100	T	Schwefel-Immissionen bei festen, flüssigen und gasförmigen Brennstoffen	221
101	WF	Elektrofilter	222
102	WF	Intensivnaßwäscher	223
103	WF	Filteranlage für organische Stäube	224
104	T	Systematik der in der BASF zur Luftreinhaltung eingesetzten Verfahren	225
105	WF	Kraftwerk Nord (1942)	226
106	WF	Kraftwerk Nord (1967)	227
107	WF	Venturiwäscher	228
108	WF	Strahlsauger	229
109	WF	Werk Ludwigshafen (Historische Aufnahme)	231

110	D	Staubniederschlag innerhalb und außerhalb des BASF-Werkes Ludwigshafen	231
111	WF	Werk Ludwigshafen (1968)	231
112	D	Brennstoffverbrauch des BASF-Werkes Ludwigshafen und SO_2-Immission	233
113	T	SO_2-Immission innerhalb und außerhalb des BASF-Werkes Ludwigshafen	233
114	KÜ	Festliegende Meßpunkte der BASF zur Überwachung der Luft	234
115	WF	Luftmeßwagen (mit ausgefahrenem Windmeßgerät)	235
116	WF	Luftmeßwagen (Innenausstattung)	235
117	WF	Emissionsüberwachung mit Fernsehkamera	236
118	T	Rohstoffpreise frei Ludwigshafen a. Rh. für Koks, Rohbenzin und Heizöl	238
119	T	Sonderabschreibungen für Maßnahmen der BASF zur Luftreinhaltung	239
120	T	Kostenvergleich verschiedener Kraftwerkstypen	241
121	WF	Werk Ludwigshafen (Gesamtansicht als Luftaufnahme mit markierten Einrichtungen zur Wasserversorgung, Abwasserreinigung, Abfallstoffbeseitigung und Luftreinhaltung)	245

0 Einführung

Die vorliegende Untersuchung befaßt sich mit einem Teilaspekt des chemieindustriellen Standortproblems. Aus dem Katalog der die wirtschaftliche Situation eines Chemiebetriebes bestimmenden regionalwirtschaftlichen Gegebenheiten wurde das örtliche Wasservorkommen herangezogen.

Dabei erwies sich die in der Literatur bei Beschaffungspotentialanalysen häufig angewandte Methode, den betrieblichen Wasserbedarf als Globalgröße den am jeweiligen Standort herrschenden wasserwirtschaftlichen Verhältnissen einfach gegenüberzustellen, um hieraus eine u.U. bestehende Standortgunst bzw. Standortungunst abzuleiten, als vordergründig und den eigentlichen wasserwirtschaftlichen Problemen nicht angemessen. Ein Beschaffungsgut, das in seiner betrieblichen Funktion weitgehend naturgesetzlich determiniert ist, entzieht sich einer ausschließlich ökonomischen Betrachtungsweise. Erst die technische Vollzugsaufgabe macht "Wasser" zu einer quantitativ und qualitativ definierbaren Anforderungskategorie an den Raum.

Der Verfasser hielt es daher für notwendig, über die ökonomische Motivation des Stoffeinsatzes und seiner geographisch bedingten Deckungsmöglichkeit hinaus auch den chemisch-technologischen Hintergrund der innerbetrieblichen Wasserwirtschaft sichtbar werden zu lassen. Mit anderen Worten: die Untersuchung wurde interdisziplinär angelegt; es galt, die Wasserversorgung als technisch-wirtschaftlich-geographisch bedingte Integrationsaufgabe darzustellen.

Nun gehört es nicht nur zu den Aufgabengebieten der industriellen Wasserwirtschaft, die betriebliche Wasserversorgung am gegebenen Standort sicherzustellen und alle damit zusammenhängenden Fragen, wie Wasseraufbereitung, Wasserbeschaffenheit, Wasserspeicherung usw. auf die betrieblichen Belange auszurichten. Sie muß vielmehr den Zusammenhang erkennen, der zwischen der Wassernutzung und der nach Vollzug dieser Aufgabe notwendigen Abwasserableitung besteht. Zwischen beiden Aufgabengebieten liegt die innerbetriebliche Wasserwirtschaft mit den unterschiedlichen Verwendungsbereichen, den Rationalisierungsbestrebungen

zur Senkung des spezifischen Wasserverbrauchs, den Einflußmöglichkeiten auf die Abwasserbeschaffenheit, um nur einige dieser Problemkreise anzusprechen. Auch hier zeigt sich die technisch-wirtschaftlich-geographisch bedingte Integrationsaufgabe. Das Wasser wird einem - für die Chemische Industrie zumeist - natürlichen Wasserlauf entnommen und zum größten Teil - nun allerdings in veränderter Form - dem Vorfluter zurückgegeben. Es genügt auch hier nicht, am Einlaufwerk bzw. der Heberleitung des Wasserwerks Halt zu machen, um am Ausgang des Abwasserkanals die Analyse fortzusetzen.

Betrafen die bisherigen Ausführungen die Art und Weise der Themenbehandlung, so soll im Folgenden auf eine notwendige Erweiterung des Untersuchungsobjekts hingewiesen werden. Die Verknüpfung von Wasserversorgung und Abwasserableitung machte bereits deutlich, daß mit der Nutzung örtlicher Wasservorkommen zugleich ein potentieller Umweltbelastungseffekt verbunden sein kann. Die Raumwirksamkeit chemiebetrieblicher Produktionsweise äußert sich hier nicht in einer mehr oder weniger starken Inanspruchnahme standortspezifischer Beschaffungspotentiale, sondern in einer unmittelbaren Beeinträchtigung der Umwelthygiene. Im abfallwirtschaftlichen Sachzusammenhang hierzu müssen auch die entsprechenden Auswirkungen des Abfallstoff- und Abluftanfalls gesehen werden. Die ihnen entsprechenden Umweltbelastungseffekte haben inzwischen ein spektakuläres Ausmaß angenommen und die Öffentlichkeit zum Einschreiten bewogen: Ein System von Gesetzen, Verordnungen und behördlichen Auflagen, auf das hier nur verwiesen werden soll[1)], verpflichtet den Chemie-

---

1) Die rechtlichen Grundlagen zur chemiebetrieblichen Wasserversorgung, Abwasserreinigung, Abfallstoffbeseitigung und Luftreinhaltung werden größtenteils nicht eigengesetzlich abgedeckt, sondern sind verstreut den verschiedensten Rechtsgebieten zu entnehmen, wie dem Wasserrecht, Gewerberecht, Wirtschaftsrecht, Baurecht, Naturschutzrecht, Atomrecht Privat- und Strafrecht. Als problematisch haben sich neben dieser Zersplitterung vor allem die zu Rechtsunsicherheit führenden Gesetzeslükken sowie die ausschließliche Länderkompetenz in Umweltfragen und damit die Gefahr mangelnder Bundeseinheitlichkeit erwiesen. Ein Bundes-Wasserhygienegesetz, -Abfallbeseitigungsgesetz und Immissionsschutzgesetz werden z. Zt. gesetzgeberisch vorbereitet. Die folgende Zusammenstellung gibt nur die wichtigsten Rechtsquellen an. Sie werden im Regel-

betrieb zur Verminderung bzw. Begrenzung seines diesbezüglichen Umwelteinflusses. Für den bereits standortlich gebundenen Betrieb ergibt sich aus dieser Veränderung der regionalwirtschaftlichen Ausgangssituation ein typisches Elastizitätsproblem[2)], dessen Bedeutung durch ein ggf. erhöhtes Kostenvolumen nur unzureichend charakterisiert werden kann. Vielmehr sind auch hier die chemische Verfahrenstechnik sowie die naturräumlichen Gegebenheiten des jeweiligen Standorts als zusätzliche Dimensionen in die Analyse mit einzubeziehen.

---

fall durch Einzelbestimmungen der gebietskörperschaftlichen Aufsichtsbehörden zu ergänzen bzw. auszufüllen sein:

Raumordnungsgesetz des Bundes v. 8.4.1965 (BGBl I S. 306),
Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz) v. 27.7.1957 (BGBl I S. 1110),
Landeswassergesetz Rheinland-Pfalz v. 1.8.1960 (GVBl S. 153),
Gesetz über Detergentien in Wasch- und Reinigungsmitteln v. 5.9.1961 (BGBl I S. 1653),
Verordnung über die Abbaubarkeit von Detergentien in Wasch- und Reinigungsmitteln v. 1.12.1962 (BGBl I S. 698),
Gesetz über Maßnahmen zur Sicherung der Altölbeseitigung (Altölgesetz) v. 23.12.1968 (BGBl I S. 1419),
Gesetz zur Änderung der Gewerbeordnung und Ergänzung des Bürgerlichen Gesetzbuches v. 22.12.1959 (BGBl I S. 781),
Verordnung über genehmigungspflichtige Anlagen nach § 16 der Gewerbeordnung v. 4.8.1960(BGBl I S. 690),
Bundesbaugesetz v. 23.6.1960 (BGBl I S. 341),
Reichsnaturschutzgesetz v. 26.6.1935 (RGBl I S. 821),
Gesetz zur Verhütung und Bekämpfung übertragbarer Krankheiten beim Menschen (Bundes-Seuchen-Gesetz) v. 18.7.1961 (BGBl I S. 1012),
Immissionsschutzgesetz Rheinland - Pfalz v. 28.7.1966 (GVOBl S. 211),
Gesetz über Vorsorgemaßnahmen zur Luftreinhaltung v. 17.5.1965 (BGBl I S. 413),
Allgemeine Verwaltungsvorschriften über genehmigungsbedürftige Anlagen nach § 16 der Gewerbeordnung (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft) v. 8.9.1964 (GMBl S. 433),
Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz) v. 23.12.1959 (BGBl I S. 814),
Erste Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Strahlen radioaktiver Stoffe (Erste Strahlenschutzverordnung) v. 24.6.1960 (BGBl I S. 430) und
Verordnung über das Verfahren bei der Genehmigung von Anlagen nach § 7 des Atomgesetzes (Atomanlagen-Verordnung) v. 20.5.1960 (BGBl I S. 310).

2) Vgl. Behrens, Karl Christian: Bedeutungswandel der Faktoren. In: Der Volkswirt. 20. Jg., Nr. 14/1966, S. 495 ff.

Damit ist der grundsätzliche Gliederungsaufbau der Untersuchung bereits vorgegeben: In den vier Hauptkapiteln zur Wasserversorgung, Abwasserreinigung, Abfallstoffbeseitigung und Luftreinhaltung vermitteln zunächst statistische Angaben den

(1) gesamt- bzw. chemieindustriellen Bezugsrahmen.

Ihnen folgen Erörterungen der

(2) teilgebietsbezogenen Sachzwänge einer chemisch-technologischen Produktionsweise bzw. Abfallwirtschaft,

(3) der entsprechenden potentiellen Belastungseffekte sowie

(4) der Möglichkeit des chemiebetrieblichen Umweltschutzes einschließlich

(5) seines ökonomischen Stellenwerts.

Einleitende Bemerkungen ordnen die behandelten Teilaspekte in das allgemeine Standortproblem ein, während die Zusammenfassung zugleich einen Hinweis auf künftige Umwelteinflüsse durch chemiebetrieblichen Kernenergieeinsatz enthält.

Vom Verfasser wurde es als besonders sachdienlich empfunden, daß er die Untersuchungsproblematik durch empirische Angaben eines chemischen Großbetriebes inhaltlich konkretisieren konnte. Die Geschäftsleitung der Badischen Anilin- & Soda-Fabrik AG, vertreten durch das Vorstandsmitglied, Herrn Direktor Prof. Dr.-Ing. Walter Ludewig (Ingenieurwesen), erklärte sich in dankenswerter Weise bereit, dem Verfasser durch Betriebsbesichtigungen, Bildmaterial sowie mündlichen und schriftlichen Auskünften Einblicke in die praktischen Probleme der chemieindustriellen Wasserwirtschaft und Umwelthygiene im Werk Ludwigshafen a. Rh. zu verschaffen - ein Entgegenkommen, das der Verfasser anläßlich mehrerer Arbeitsaufenthalte in Ludwigshafen in zahlreichen Gesprächen, aber auch durch umfangreiche Korrespondenz bis an die Grenzen des Möglichen ausgeschöpft hat. Als Gesprächspartner stellte sich zu den einzelnen Teilgebieten zur Verfügung:

1. Allgemeine Unternehmenspolitik und Kosten der unter 2. - 5. genannten Teilaspekte:

   Herr Prok. Dr. Jens-Peter Siegfriedt (Zentralbüro),

Herr Prok. Dr. Günter Bogenstätter (TA/Konstruktion, K-BO),

Herr Dr. Günter Erhardt (DV/Kostenrechnung),

Herr Dipl.-Kfm. Peter Jürgen Lind (Verkaufsbereich K/Zentralstelle) und

Herr Dipl.-Vw. Hans Weis (Verkauf/Direktions-Abt.).

2. Wasserversorgung einschließlich Wasseraufbereitung:

Herr Dir. Dipl.-Ing. Adolf-Friedrich Wilck (Energie-Abt.),

Herr Prok. Dipl.-Ing. Hans Günther (Energie-Abt.),

Herr Dr. Kurt Hochmüller (Energie-Abt./Wasseraufbereitung),

Herr Chemie-Ing.grad. Erwin Wandelt (Energie-Abt./Wasseraufbereitung),

Herr Dipl.-Ing. Jörg Altnöder (Energie-Abt., BW-Gas und Wasser),

Herr Obering. Dipl.-Ing. Karl Engel (Energie-Abt./ Wasserw. und Drucklufterzeugung) und

Herr Verf.-Ing.grad. Dietmar Kokott (Energie-Abt./Wasserw. und Drucklufterzeugung).

3. Abwasserreinigung einschließlich Kanalisation:

Herr Dir. Reg.-Baumeister Karl Haisch (TA/Bauwesen),

Herr Prok. Dipl.-Ing. Heinz Kühner (TA/Baubetrieb),

Herr Bau-Ing.grad. Robert Breiner (TA/Bautechnisches Konstruktionsbüro),

Herr Dipl.-Ing. Hubert Engelhardt (TA/Sicherheitswesen) und

Herr Dr. Walter Haltrich (TA/Sicherheitswesen).

4. Abfallstoffbeseitigung:

Herr Dipl.-Ing. Gerhard Braun (TA/Baubetrieb),

Herr Obering. Dipl.-Ing. Heinz Leib (Energie-Abt. / Müllverbrennung) und

Herr Dipl.-Ing. Konrad Schiller (Energie-Abt./Müllverbrennung).

5. Luftreinhaltung:

Herr Dir. Dr. Hans Joachim Frost (TA/Sicherheitswesen),

Herr Dr. Manfred Häberle (TA/Sicherheitswesen) und

Herr Dr. Henner Runge (Ammoniak-Labor/Gasanalyse).

6. Historisches Quellenmaterial:

Herr Dr. Gerhart Wolf (AOA/Hauszeitschrift u. Firmenarchiv),

Herr Dr. Carl Anton Reichling (AOA/Hauszeitschrift u. Firmenarchiv),

Fräulein Maria Frosch (AOA/Firmenarchiv) und

Herr Peter Göb (ehem. AOA/Firmenarchiv).

Wertvolle Anregungen und Hinweise empfing der Verfasser auch bei Gesprächen mit Persönlichkeiten außerhalb des BASF-Bereichs, so zu den Teilgebieten der abwasser- und abluftbezogenen Umweltbelastungseffekte bzw. den verfahrenstechnischen Möglichkeiten ihrer Verminderung durch

Frau Chemieoberrätin Dr. Inge Stauffert (Chemisches Untersuchungsamt der Stadt Mannheim),

Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Franz Pöpel (ehem. Direktor des Instituts für Siedlungswasserbau und Wassergütewirtschaft an der Universität Stuttgart),

Herrn Baudirektor Dipl.-Met. Hans Schwegler (Referat für Kreisverwaltung und öffentliche Ordnung der Stadtverwaltung München),

Herrn Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Teske (ehem. Farbwerke Höchst AG),

Herrn Dipl.-Ing. Volkhard Höfer (Passavant-Werke, Michelbacher Hütte) und

zu allgemeinen kommunal- bzw. industriestandortpolitischen Problemen am Standort Ludwigshafen a. Rh. durch

Herrn Dr. Kurt Becker-Marx (Kommunale Arbeitsgemeinschaft Rhein-Neckar),

Herrn Dr. Hans Horak (Industrie- und Handelskammer für die Pfalz, Ludwigshafen a. Rh.),

Herrn Oberverwaltungsrat Dipl.-Vw. Karlheinz Hieb (Stadtverwaltung Ludwigshafen, Amt für Stadtforschung, Statistik und Wahlen),

Herrn Oberbaurat Kühnel (Tiefbauamt Ludwigshafen a. Rh.) und

Herrn Dr. Münster (Stadtwerke Ludwigshafen a. Rh.).

Ihnen allen gilt der aufrichtige Dank des Verfassers.

Es ist naheliegend, daß die weitgehend empirisch ausgerichtete Analyse eine Fülle von Faktenmaterial verarbeiten mußte. Ihre ausschließlich

verbale Darstellung und Diskussion hätte den allgemeinen Problemgehalt der hier interessierenden Teilgebiete zu sehr in den Hintergrund treten lassen. Sie wurden daher in (fortlaufend numerierten) Tabellen zusammengefaßt bzw. zu Schaubildern umgeformt, ergänzt durch schematische Darstellungen und fotografische Aufnahmen; sie sollen Text ersetzen, zugleich aber Erkenntnisse per Implikation zulassen. Insofern sind sie integrierende Bestandteile der jeweiligen Ausführungen und als solche zu werten. Lediglich bei Schaubildern wurde das statistische Basismaterial in den Anhang verwiesen.

Abschließend möchte es der Verfasser nicht versäumen, seinem akademischen Lehrer, Herrn Prof. Dr. Karl Christian Behrens, für die großzügige Unterstützung und Förderung dieser Arbeit besonders zu danken.

1 Regionalwirtschaftliche Ausgangssituation

1.1 Eingliederung in das betriebswirtschaftliche Standortproblem

Die betriebswirtschaftliche Standortlehre betrachtet den Prozeß der betrieblichen Leistungserstellung und -verwertung als im besonderen Maße abhängig von bestimmten regionalwirtschaftlichen Tatbeständen. Sie werden im allgemeinen als "Standortfaktoren"[3], "Standortbedingungen"[4] und "Gebietsressourcen"[5] definiert, jedoch von den Fachvertretern in ihrer Bedeutung für die betriebliche Standortwahl und damit als "Standortanforderungen"[6] nicht einheitlich interpretiert. Insbesondere die im Anschluß an ROSCHER[7], SCHÄFFLE[8] und LAUNHARDT[9] von A. WEBER[10] vorgenommene Begrenzung der relevanten Einflußgrößen auf Transportkosten, Arbeitskosten und Agglomerationsvorteile bestimmte lange Zeit hindurch die Diskussion zum industriellen Standortproblem.

Im Gegensatz zu diesen modellhaften Vereinfachungen der genannten Autoren bemüht sich BEHRENS[11] in empirisch-realistischer Betrachtungs-

---

3) Vgl. u.a. Behrens, Karl Christian: Allgemeine Standortbestimmungslehre. Köln und Opladen 1961, S. 34 f.

4) Vgl. u.a. Rüschenpöhler, Hans: Der Standort industrieller Unternehmungen als betriebswirtschaftliches Problem. Berlin 1958, S. 67 ff.

5) Vgl. u.a. Streibel, Günter: Die Bedeutung der Gebietsressource Wasser für die perspektivische Standortverteilung der Produktivkräfte in der DDR. In: Wissenschaftliche Zeitschrift der Hochschule für Ökonomie, Berlin-Karlshorst. 11. Jg., Nr. 2/1966, S. 192

6) Vgl. Rüschenpöhler, Hans: a.a.O., S. 64 ff.; Streibel, Günter: a.a.O.

7) Roscher, Wilhelm: System der Volkswirtschaft. 3. Band. Stuttgart 1881, S. 502 ff.

8) Schäffle, Albert: Das gesellschaftliche System der menschlichen Wirtschaft. 3. Aufl. Tübingen 1873, S. 274 ff.

9) Launhardt, Wilhelm: Die Bestimmung des zweckmäßigsten Standorts einer gewerblichen Anlage. In: Zeitschrift des VDI. Jg. 1882, S. 105 ff.

10) Weber, Alfred: Über den Standort der Industrien. 1. Teil: Reine Theorie des Standorts. Tübingen 1909, S. 16

11) Behrens, Karl Christian: a.a.O.

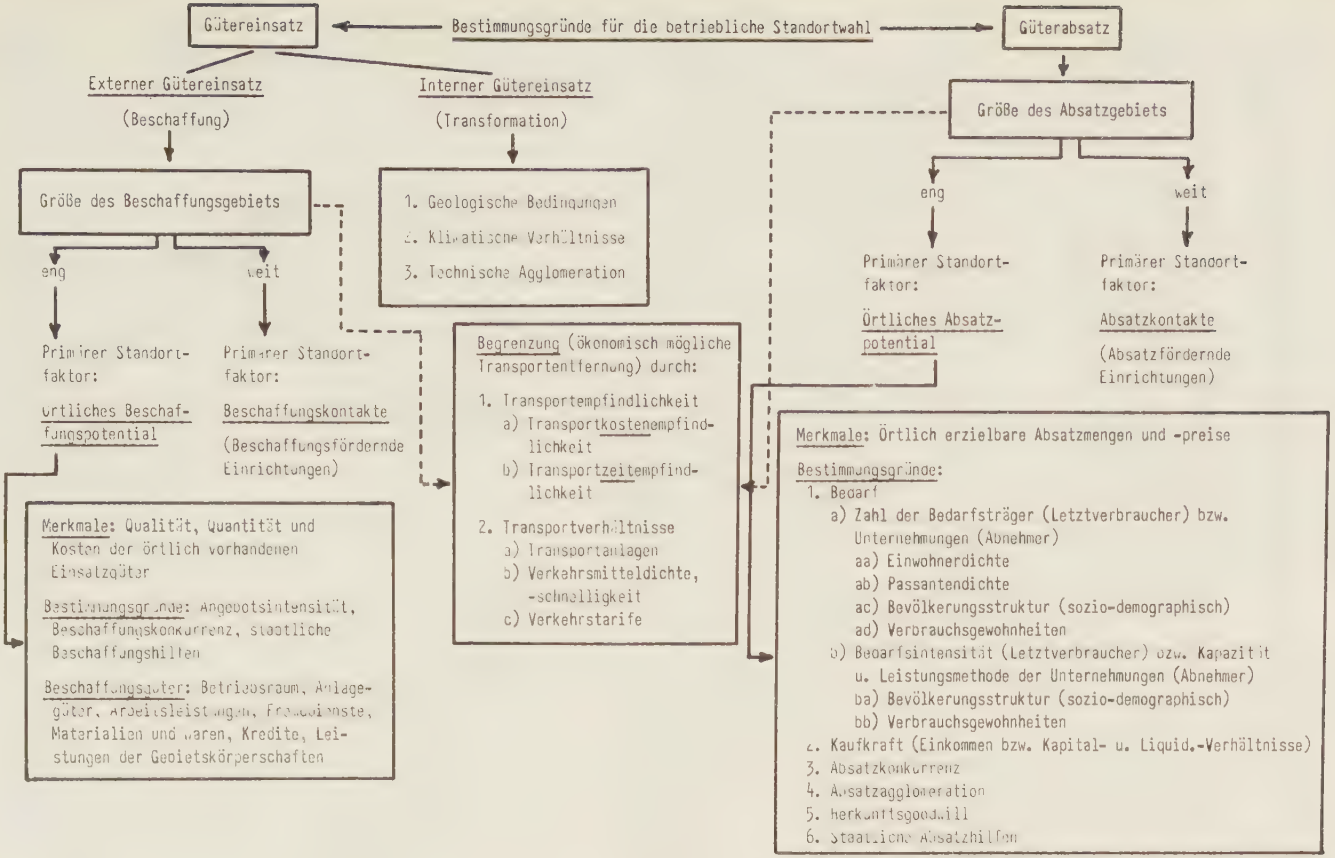

Gütereinsatz
Bestimmungsgründe für die betriebliche Standortwahl
Güterabsatz
Externer Gütereinsatz
(Beschaffung)
Interner Gütereinsatz
(Transformation)
Größe des Beschaffungsgebiets
1. Geologische Bedingungen
2. Klimatische Verhältnisse
3. Technische Agglomeration
eng
weit
Primärer Standort-faktor:
örtliches Beschaf-fungspotential
Primärer Standort-faktor:
Beschaffungskontakte
(Beschaffungsfördernde Einrichtungen)
Merkmale: Qualität, Quantität und Kosten der örtlich vorhandenen Einsatzgüter
Bestimmungsgründe: Angebotsintensität, Beschaffungskonkurrenz, staatliche Beschaffungshilfen
Beschaffungsgüter: Betriebsraum, Anlage-güter, Arbeitsleistungen, Freidienste, Materialien und Waren, Kredite, Lei-stungen der Gebietskörperschaften
Begrenzung (ökonomisch mögliche Transportentfernung) durch:
1. Transportempfindlichkeit
a) Transportkostenempfind-lichkeit
b) Transportzeitempfind-lichkeit
2. Transportverhältnisse
a) Transportanlagen
b) Verkehrsmitteldichte, -schnelligkeit
c) Verkehrstarife
Größe des Absatzgebiets
eng
weit
Primärer Standort-faktor:
Örtliches Absatz-potential
Primärer Standort-faktor:
Absatzkontakte
(Absatzfördernde Einrichtungen)
Merkmale: Örtlich erzielbare Absatzmengen und -preise
Bestimmungsgründe:
1. Bedarf
a) Zahl der Bedarfsträger (Letztverbraucher) bzw. Unternehmungen (Abnehmer)
aa) Einwohnerdichte
ab) Passantendichte
ac) Bevölkerungsstruktur (sozio-demographisch)
ad) Verbrauchsgewohnheiten
b) Bedarfsintensität (Letztverbraucher) bzw. Kapazität u. Leistungsmethode der Unternehmungen (Abnehmer)
ba) Bevölkerungsstruktur (sozio-demographisch)
bb) Verbrauchsgewohnheiten
2. Kaufkraft (Einkommen bzw. Kapital- u. Liquid.-Verhältnisse)
3. Absatzkonkurrenz
4. Absatzagglomeration
5. Herkunftsgoodwill
6. Staatliche Absatzhilfen

Abb. 1

weise um ein möglichst vollständiges Erfassen aller nur denkbaren (ökonomischen) Standortfaktoren. Die dabei entwickelte Systematik, deren logischer Aufbau in Schema 1 wiedergegeben wurde, unterscheidet zwischen Gütereinsatz- und -absatzfaktoren. Als stoffliche Komponente des "externen Gütereinsatzes" erweist sich danach die betriebliche Wasserversorgung als ein Teilproblem der allgemeinen standortbezogenen Beschaffungspotentialanalyse.

Anders verhält es sich hingegen mit den Problemen der betrieblichen Abwasserreinigung, Abfallstoffbeseitigung und Luftreinhaltung. Ihre standörtliche Relevanz läßt sich nicht ohne weiteres dem vorliegenden Faktorschema entnehmen, sondern bestimmt sich nach Maßgabe mehr oder weniger restriktiver Auflagen der jeweiligen Gebietskörperschaft. Sie sind insofern gedanklich als eine das Faktorschema überlagernde regionalwirtschaftliche Rahmenbedingung aufzufassen. BEHRENS spricht in diesem Zusammenhang von "staatlicher Begrenzung der Standortwahl"[12]. Bei den räumlich bereits gebundenen Betrieben verursachen sie dagegen das schon einleitend vermerkte Elastizitätsproblem.

---

12) Ebenda, S. 100 f.

1.2 Technisch-wirtschaftliche Rahmenbedingungen des Untersuchungsobjekts

Der Hinweis, daß die chemiebetriebliche Wasserwirtschaft und Umwelthygiene nur als Teilaspekte des allgemeinen Standortproblems aufzufassen sind, bedarf der Ergänzung durch betriebsindividuelle Hintergrundsdaten zum vorgegebenen Untersuchungsobjekt BASF.

Das Unternehmen wurde am 6.4.1865 als Chemische Fabrik in der badischen Stadt Mannheim gegründet. Als räumliche Basis der künftigen Produktionsstätte für synthetische Anilinfarben sowie anorganische

SITUATIONSPLAN AUS DER GRÜNDUNGSZEIT DER BASF
(Beilage zur Konzessionsurkunde v. 8.5.1865)

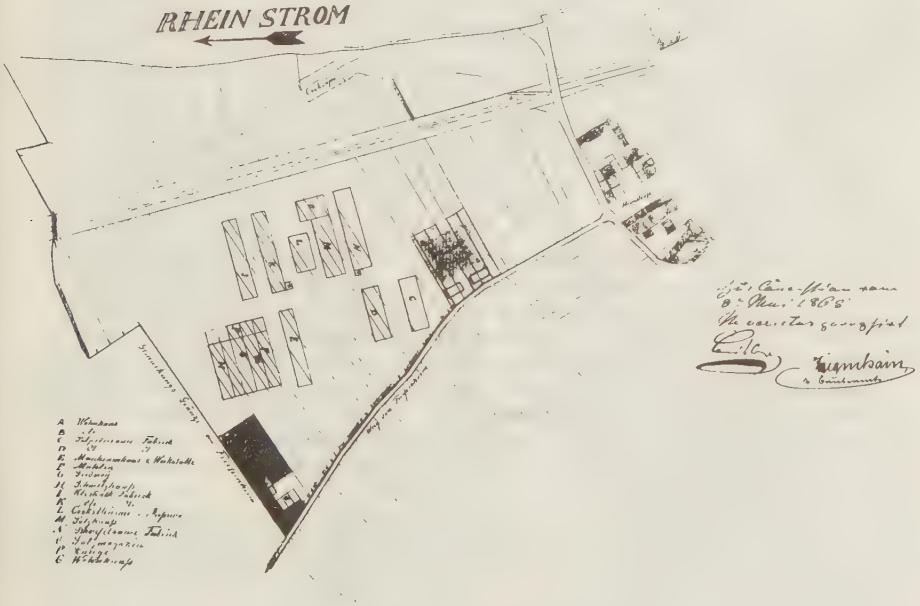


Abb. 2

Grundchemikalien, wie (Le Blanc-)Soda, Schwefelsäure und Salzsäure, war ursprünglich ein rd. 40 Morgen umfassendes und in Neckarnähe befindliches städtisches Gelände vorgesehen. Unerwartete Schwierigkeiten bei den Kaufverhandlungen veranlaßten jedoch die Firmengründer, sich nunmehr für einen Standort am linken, damals noch bayrischen Ufer des "Neurheins" zu interessieren und dortselbst noch im gleichen Monat rd. 30 Morgen landwirtschaftlich genutzte Fläche aufzukaufen (Abb. 2). Das Gelände befand sich an der südlichen Einfahrt des durch die Tulla'sche Rheinkorrektion 1827 angelegten und seit 1862 voll schiffbar gemachten "Friesenheimer Durchstichs" (Abb. 3). Die damit gleichzeitig gebotenen Ausdehnungsmöglichkeiten wurden von der BASF in der Folgezeit umfassend genutzt, so daß sich das Werk in seiner inzwischen über 100jährigen Geschichte zum größten geschlossenen Chemiekomplex Europas entwickeln konnte (Abb. 4).

Mit den in Tab. 5 angegebenen technisch-wirtschaftlichen Daten und als Produktionsschwerpunkt (BASF AG) eines weltweit engagierten Unternehmens (BASF-Gruppe) stellt es vielfältige Anforderungen an den ihn umgebenden Wirtschaftsraum. In ihrer Summe weisen sie das Werk Ludwigshafen als prägenden Faktor des industriellen Ballungsgebiets an Rhein und Neckar aus[13)14)].

---

13) Zur Entstehung und Entwicklung des chemieindustriell geprägten Wirtschaftsraumes um Mannheim/Ludwigshafen einschließlich der hier angesiedelten Chemieunternehmen vgl. Bansbach, W.: Mannheim als Standort der Industrie. Diplomarbeit Mannheim 1921, S. 37 ff.; Bürgermeisteramt von der Stadt Ludwigshafen (Hrsg.): Geschichte der Stadt Ludwigshafen am Rhein. Ludwigshafen a. Rh. 1903, S. 527 ff.; Caro, H.: Über die Entwicklung der chemischen Industrie von Mannheim-Ludwigshafen a. Rh. In: Zeitschrift für angewandte Chemie. 17. Jg., Nr. 37/1904, S. 1343 ff.; Ehrenheim, Julius: Die Industrie der Pfalz in ihren Standortgrundlagen. Diss. Heidelberg 1925, S. 4 ff. u. 32 ff.; Gerber, Friedrich Julius: Mannheim als Industrie-Standort. Diss. Heidelberg 1931, S. 12 ff. u. 48 ff.; Hechelhammer, Fritz: Ludwigshafen am Rhein als Industrie-Standort. Diplomarbeit Mannheim 1922, S. 48 ff.; Horak, Hans: Die Ludwigshafener Wirtschaft. In: Stadtverwaltung Ludwigshafen am Rhein (Hrsg.): Ludwigshafen am Rhein - Stadt der Chemie. Hanau 1963, S. 52 ff.; Kube, Helga: Die Industrieansiedlung in Ludwigshafen am Rhein bis 1892 (Chemie und Metallverarbeitung). Diss. Heidelberg 1962, S. 58 ff.; Kurz, Hans: Die Entwicklung der chemischen Industrie von Mannheim-Ludwigshafen. Diplomarbeit Heidelberg 1945, S. 15 ff. u. 34 ff.

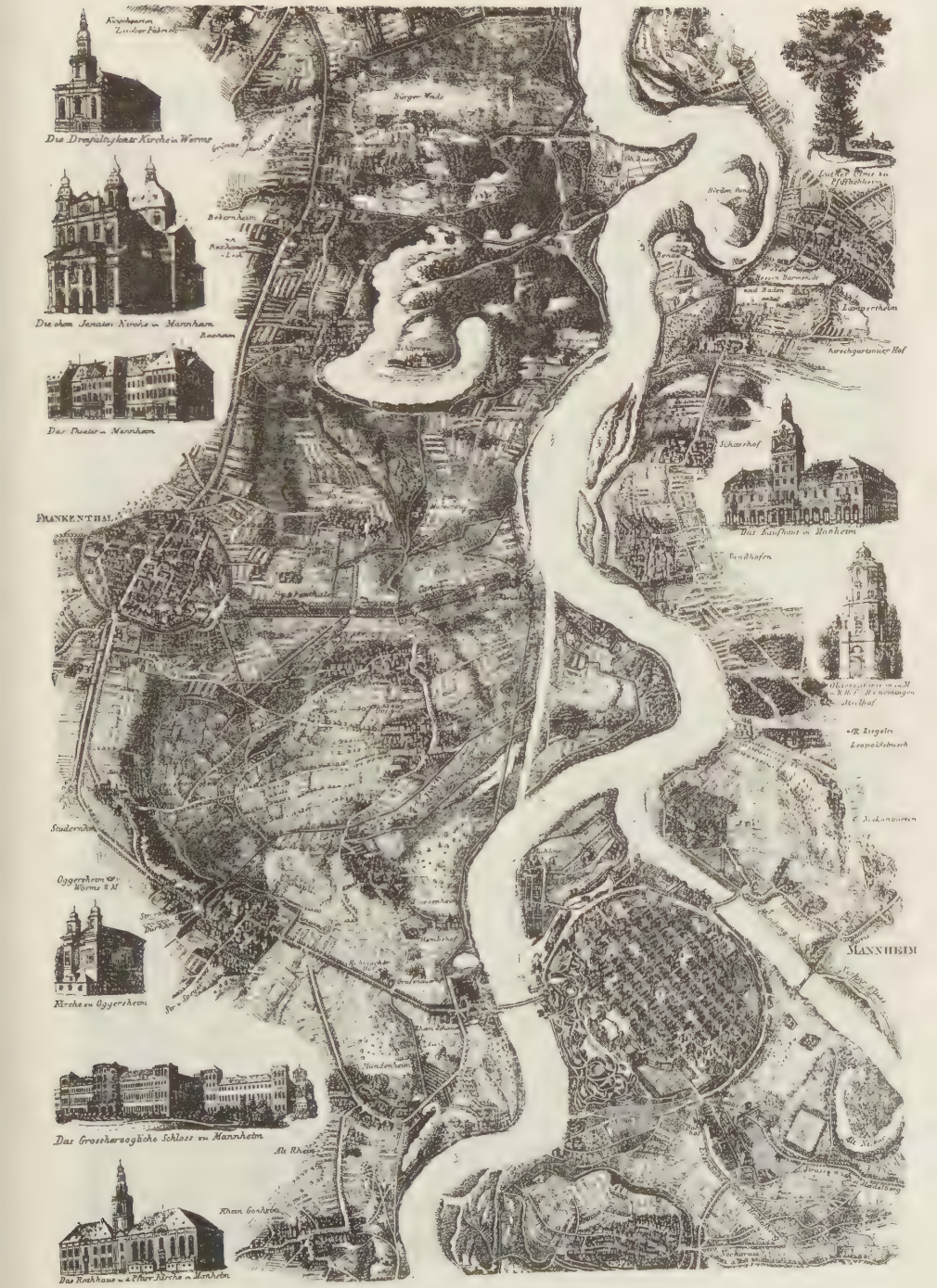

Die Dreifaltigkeits Kirche in Worms
Die ehem. Jesuiten Kirche in Mannheim
Das Theater in Mannheim
Das Kaufhaus in Mannheim
Kirche zu Oggersheim
Das Grossherzogliche Schloss zu Mannheim
Das Rathhaus u. Pfarr Kirche in Mannheim
FRANKENTHAL
MANNHEIM

Abb. 4

TECHNISCH-WIRTSCHAFTLICHE DATEN

ZUM BASF-WERK LUDWIGSHAFEN

(Bezugsjahr: 1969)

Fläche	5,63 km^2	Anzahl der Gebäude (Fabrikationsanlagen, Werkstätten, Laboratorien, Verwaltungsgebäude, Tanklager usw.)	rd. 1 500
max. Breite	1,9 km		
werkseitiges Rheinufer	5,4 km		
Rohrleitungen	1773 km		
Erdkabelleitungen	1800 km		
Befestigte Fahrstraßen	82 km	Eisenbahngleise	rd. 200 km

Nettoumsatz der BASF AG 4 516 Mio. DM

(einschließlich BASF-Magnetbandfabrik Willstätt bei Kehl, Produktionsbeginn Ende 1966, Umsatzbeteiligung 1968 rd. 3 %)

Nettoumsatz der BASF-Gruppe 8 892 Mio. DM

Produktion verkaufsfähiger Produkte	6,1 Mio. t
davon: Düngemittel und sonstige Stickstoffprodukte	3,2 Mio. t
Kunststoffe (einschließlich Dispersionen, Kaurit-Leim und Vorprodukte für vollsynthetische Fasern)	1,6 Mio. t

---

Zahl der Mitarbeiter (BASF AG), Stand 31.3.1970, 49 953

Produktionsbedingte Verbrauchszahlen:

Kohle	700 000 t	Strom	5,6 Mrd. kWh
Erdgas	120 Mio. m^3	(davon rd. 60 % Eigenerzeugung in den drei Kraftwerken in Ludwigshafen und je rd. 20 % Bezug vom BASF-Kraftwerk Marl bzw. von den RWE)	
Rohöl, Heizöl, Benzin u. a. Kohlenwasserstoffe	2,8 Mio. t		
davon: Kohle u. Heizöl f. Energieerzeugung	1,4 Mio. t		
Netzdampf	15,3 Mio. t		

Transportleistungen (einschl. werksint. Verkehr)			17,3 Mio. t
davon	Eisenbahn	rd.	35 %
	Schiff	"	35 %
	Straßenfahrzeuge	"	30 %

Anteil der BASF am Gesamtumschlag des Hafens Ludwigshafen > 60 %

Tab. 5

S. 25: Der Rhein bei Mannheim mit Friesenheimer Durchstich, Stahlstich um 1850, Ausschnitt (Abb. 3)

S. 26: Werk Ludwigshafen der BASF, Luftaufnahme (Abb. 4)

2 Die Wasserversorgung des Chemiebetriebes

2.1 Das Wasseraufkommen in der Chemischen Industrie

2.11 Anteil der Chemischen Industrie am gesamtindustriellen Wasserverbrauch

Die Wasserversorgungsmöglichkeiten bestimmter Bedarfsstandorte haben sich für die Industrie zu einem regionalwirtschaftlichen Datum von außerordentlicher Bedeutung entwickelt. Als nicht vermehrbare und nur in Grenzen substituierbare Gebietsressource sind die örtlichen Wasservorkommen in quantitativer und qualitativer Hinsicht ständig steigenden Anforderungen der Industrie ausgesetzt[15].

Statistisch ist man diesem typischen Korrelat einer jeden wachsenden Volkswirtschaft relativ spät nachgegangen. So wurden - über bloße Schätzungen hinausgehend - erstmals für das Jahr 1951 im Rahmen einer Zusatzerhebung zum Industriebericht die wichtigsten Daten zur industriellen Wasserversorgung ermittelt[16]. Die Freiwilligkeit der Berichterstattung durch die Industriebetriebe sowie die unterschiedliche Beteiligung der Bundesländer[17] schränkten jedoch die Aussagekraft jener ersten Erhebung sowie von zwei weiteren Untersuchungen für die

---

14) Zur Geschichte der Unternehmung vgl. BASF AG (Hrsg.): Im Reiche der Chemie. Düsseldorf/Wien 1965; Laible, Werner: Die Entwicklung der Badischen Anilin- und Sodafabrik mit besonderer Berücksichtigung der Kriegs- und Nachkriegszeit, sowie ihre Bedeutung für die deutsche Volkswirtschaft und den deutschen Außenhandel. Diss. Erlangen 1924

15) Die Frage, ob nicht gleichzeitig der technische Fortschritt zu einer Senkung des spezifischen Wasserverbrauchs führt, muß zunächst noch offen bleiben. Sie läßt sich ohnehin nicht einheitlich beantworten. Vgl. hierzu die Ausführungen über die "Rationalisierung der chemiebetrieblichen Wassernutzung" unter 2.3

16) Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft (Hrsg.): Die Wasserversorgung der Industrie im Bundesgebiet 1951. Als Manuskript vervielfältigt. Bonn 1953

17) 1951: ohne Bremen u. Hessen; 1952: ohne Bad.-Wttbg. u. Bayern

Jahre 1952 und 1955 erheblich ein. Das änderte sich erst mit Schaffung einer bundeseinheitlichen Regelung, die von 1957 ab die Pflicht zur Berichterstattung festlegte und damit gleichzeitig die vollständige Erfassung aller Bundesländer ermöglichte[18].

Die von nun an alle zwei Jahre - zuletzt für 1965[19] - erhobenen industriewasserwirtschaftlichen Tatbestände beziehen sich insbesondere auf das hier interessierende sog. Wasseraufkommen, worunter nach amtlicher Terminologie diejenigen Wassermengen zu verstehen sind, die bei den Industriebetrieben insgesamt anfallen, gleichgültig ob sie selbst gefördert (Eigenförderung) oder aber von Dritten bezogen wurden (Fremdbezug)[20][21]. Den Ergebnissen dieser Erhebungen ist zu entnehmen, daß sich das industrielle Wasseraufkommen allein von 1951 bis 1965 von 4,4 Mrd. m^3/a auf 11,4 Mrd. m^3/a, somit um mehr als 150 % gesteigert hat. Bezieht man die öffentliche Wasserversorgung mit ein, so fällt auf, daß sich für das industrielle Wasseraufkommen - über eine absolute Steigerung hinausgehend - auch ein sich ständig erhöhender Anteil an der gesamten Wasserförderung der Bundesrepublik ergibt. Die entsprechenden Werte sind hier mit 66,6 % bzw. 82,4 % anzugeben (Abb. 6).

An dieser Entwicklung ist die Chemische Industrie maßgeblich beteiligt. Ihr Wasseraufkommen hat sich im genannten Zeitraum von 1,1 Mrd. m^3/a

---

18) Rechtsgrundlage: Gesetz über die Allgemeine Statistik in der Industrie und im Bauhauptgewerbe vom 15.7.1957 (BGBl I S. 720) in der Fassung vom 26.4.1961 (BGBl I S. 477), zuletzt geändert durch die Fassung vom 24.4.1963 (BGBl I S. 202); Gesetz über die Statistik für Bundeszwecke (StatGes) vom 3.9.1953 (BGBl I S. 1314)

19) Vgl. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden (Hrsg.): Wasserversorgung der Industrie 1965. Fachserie D, Reihe 5, II. Stuttgart und Mainz 1968

20) Vgl. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden (Hrsg.): Wasserversorgung der Industrie 1965, a.a.O., S. 3

21) Weitere Angaben beziehen sich u.a. auf die Quellen des Wasseraufkommens sowie die Art seiner innerbetrieblichen Verwendung einschließlich Ableitung. Sie sind für den o.a. Sachzusammenhang nur von sekundärem Interesse und werden daher erst in den folgenden Abschnitten dieser Untersuchung heranzuziehen sein.

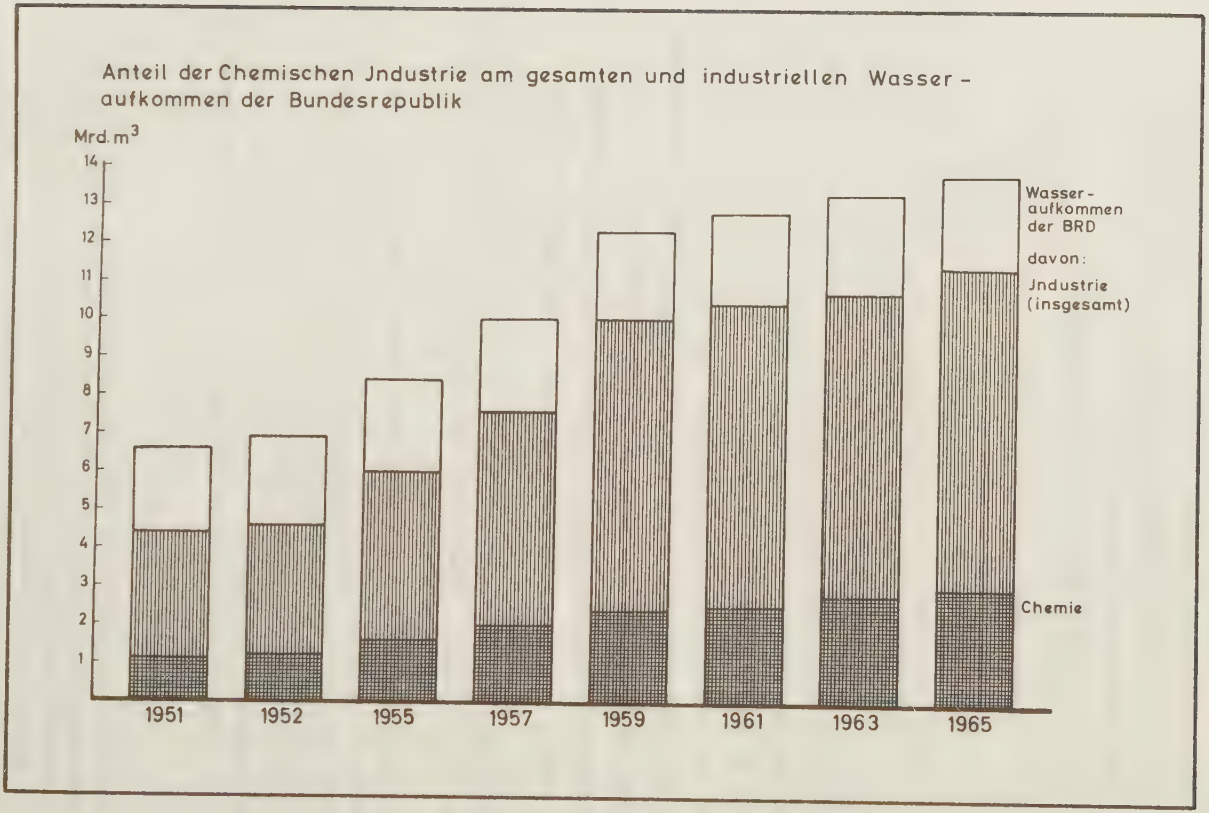

Anteil der Chemischen Jndustrie am gesamten und industriellen Wasser - aufkommen der Bundesrepublik
Mrd. m3
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
1951
1952
1955
1957
1959
1961
1963
1965
Wasser - aufkommen der BRD
davon:
Jndustrie (insgesamt)
Chemie

Abb. 6

auf 3,0 Mrd. m^3/a erhöht. Das entspricht einer Beteiligung am Gesamtwasseraufkommen der Bundesrepublik von 17,2 % bzw. 21,7 % (Abb. 6).

Auch bei einem Vergleich der einzelnen Industriezweige erweist sich die Chemische Industrie als besonders wasserintensiv: Sie ist am gesamten industriellen Wasseraufkommen mit 26,4 % beteiligt und steht somit noch knapp vor dem Kohlenbergbau[22] an erster Stelle der industriellen Wassernutzer (Abb. 7).

2.12 Regionale und betriebliche Begrenzung des Untersuchungsobjekts

Vermitteln die bisherigen statistischen Angaben bereits die Größenordnungen, mit denen hinsichtlich des Wasseraufkommens bei der Chemischen Industrie zu rechnen ist, so soll im Folgenden - gemäß der einleitend vermerkten regionalen und betrieblichen Begrenzung - aufgezeigt werden, in welchem Maße das Land Rheinland-Pfalz und hier wiederum die BASF an dieser Entwicklung beteiligt sind.

Ein Blick auf Abb. 8 weist Rheinland-Pfalz sowohl im Verhältnis zu den anderen Bundesländern als auch im Industriegruppenvergleich auf Landesebene als chemiewasserwirtschaftlich überproportional vertreten aus. Maßgeblich partizipiert hieran die BASF, deren Anteil trotz rückläufiger Tendenz auf Bundesebene mit gegenwärtig wohl um 25 % für Rheinland-Pfalz im Zeitraum von 1951-1965 jeweils immer über 90 % lag (Tab. 9)

Nun sind regionalwirtschaftliche Aussagen, die ihren Bezugsrahmen ausschließlich von politisch bestimmten Grenzen erhalten, nur sehr bedingt verwertbar. Das trifft insbesondere für das Ballungsgebiet Rhein - Neckar zu, an dessen Wirtschaftsraum sich die Bundesländer Rheinland-Pfalz, Hessen und Baden-Württemberg in unterschiedlichem Ausmaß beteiligen. Sein Zentrum ist gleichzeitig der Standort unseres chemiewasserwirtschaftlichen Untersuchungsobjekts.

---

22) Der Anteil des Kohlenbergbaus am industriellen Wasseraufkommen fällt nur aus erhebungstechnischen Gründen so hoch aus (vgl. o.a. Definition des Begriffs "Wasseraufkommen"). Er darf nicht darüber hinwegtäuschen, daß rd. 50 % der insgesamt "geförderten" Mengen (= rd. 1,4 Mrd. m^3) als Grubenwasser wieder ungenutzt abgeleitet werden.

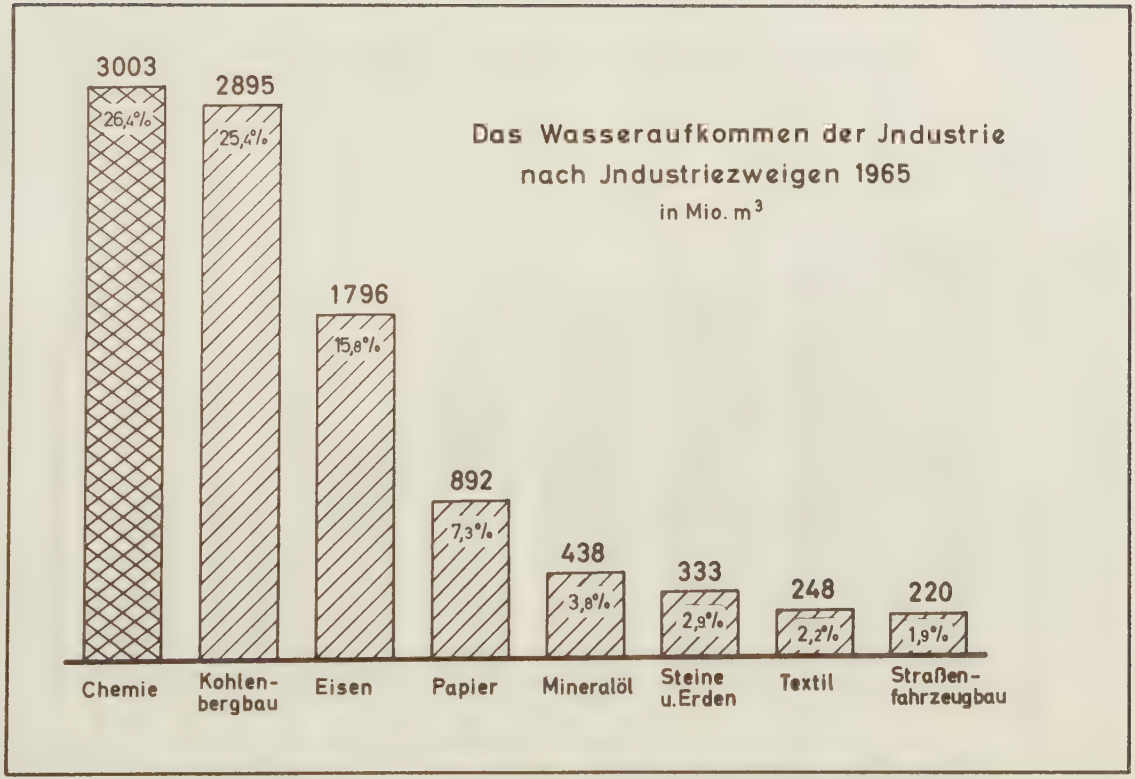

Das Wasseraufkommen der Jndustrie
nach Jndustriezweigen 1965
in Mio. m³
3003
26,4%
2895
25,4%
1796
15,8%
892
7,3%
438
3,8%
333
2,9%
248
2,2%
220
1,9%
Chemie
Kohlen-bergbau
Eisen
Papier
Mineralöl
Steine u.Erden
Textil
Straßen-fahrzeugbau

Abb. 7

Für Rheinland - Pfalz muß die Bedeutung der BASF insofern modifiziert werden, als sich die Chemische Industrie hier fast ausschließlich auf das vorderpfälzische Industriegebiet, genauer: auf das vorderpfälzische Vorland am Rhein mit Mittelpunkt Ludwigshafen konzentriert hat[23]. Der überragende Anteil der BASF am industriellen, wie chemieindustriellen Wasseraufkommen gilt somit auch für jenes linksrheinische Teilgebiet der Rhein-Neckar-Ballung.

Bei Einbeziehung von Hessen und Baden - Württemberg ergibt sich ebenfalls die Notwendigkeit der Eliminierung des nicht dem Rhein-Neckar-Gebiet zuzurechnenden Chemie-Wasseraufkommens. Allein durch Berücksichtigung eines ca. 60 %igen Anteils der Farbwerke Höchst AG am Wasseraufkommen aus Oberflächenwasser (Main)[24] schrumpft der Anteil Hessens für das Jahr 1963[25] von rd. 1/4 auf gut 1/10, was wiederum das ohnehin schon mit rd. 2/3 beteiligte Rheinland-Pfälzische Wasseraufkommen in entsprechender Weise noch erhöht. Für Baden-Württemberg liegen die Werte unter 10 %[26].

---

23) Vgl. hierzu die Ergebnisse der letzten amtlichen Zählung der nichtlandwirtschaftlichen Arbeitsstätten v. 6.6.1961, dargestellt in: Statistisches Bundesamt, Institut für Landeskunde, Institut für Raumforschung (Hrsg.): Die Bundesrepublik Deutschland in Karten. Kartenblatt 4311/3 (Beschäftigte in der chemischen und in der mineralölverarbeitenden Industrie in den kreisfreien Städten und Landkreisen). Mainz o.J.

24) rd. 185 Mio. m^3/a; vgl. Statistisches Bundesamt Wiesbaden (Hrsg.): Wasserversorgung der Industrie 1965, a.a.O., S. 27 in Verbindung mit o.V.: Neue Wege zur Abluft- und Abwasserreinigung in Hoechst. In: Chemie-Ingenieur-Technik. 37. Jg., Nr. 10/1965, S. 1081 und Ploetz, Theodor: Wasser in der Industrie. In: Kongreß und Ausstellung Wasser Berlin e.V. (Hrsg.): Kongreß und Ausstellung Wasser Berlin 1968. Vorträge. Berlin 1969, S. 106

25) Es mußte auf die amtlichen Ergebnisse für 1963 zurückgegriffen werden, da die mit Fußnote 24) bezeichnete Quelle (Statistisches Bundesamt) für 1965 wegen Geheimhaltung von Einzelangaben keine Daten zum Wasseraufkommen der Chemischen Industrie in Baden-Württemberg machte. Die einander entsprechenden Mengen des Wasseraufkommens an Oberflächenwasser für 1963 sind dortselbst auf S. 27 wie folgt angegeben: Hessen: 318 Mio. m^3/a, Rheinland-Pfalz: 789 Mio. m^3/a und Baden-Württemberg: 92 Mio. m^3/a.

26) Vgl. Statistisches Bundesamt (Hrsg.): Wasserversorgung der Industrie 1965, a.a.O., S. 27

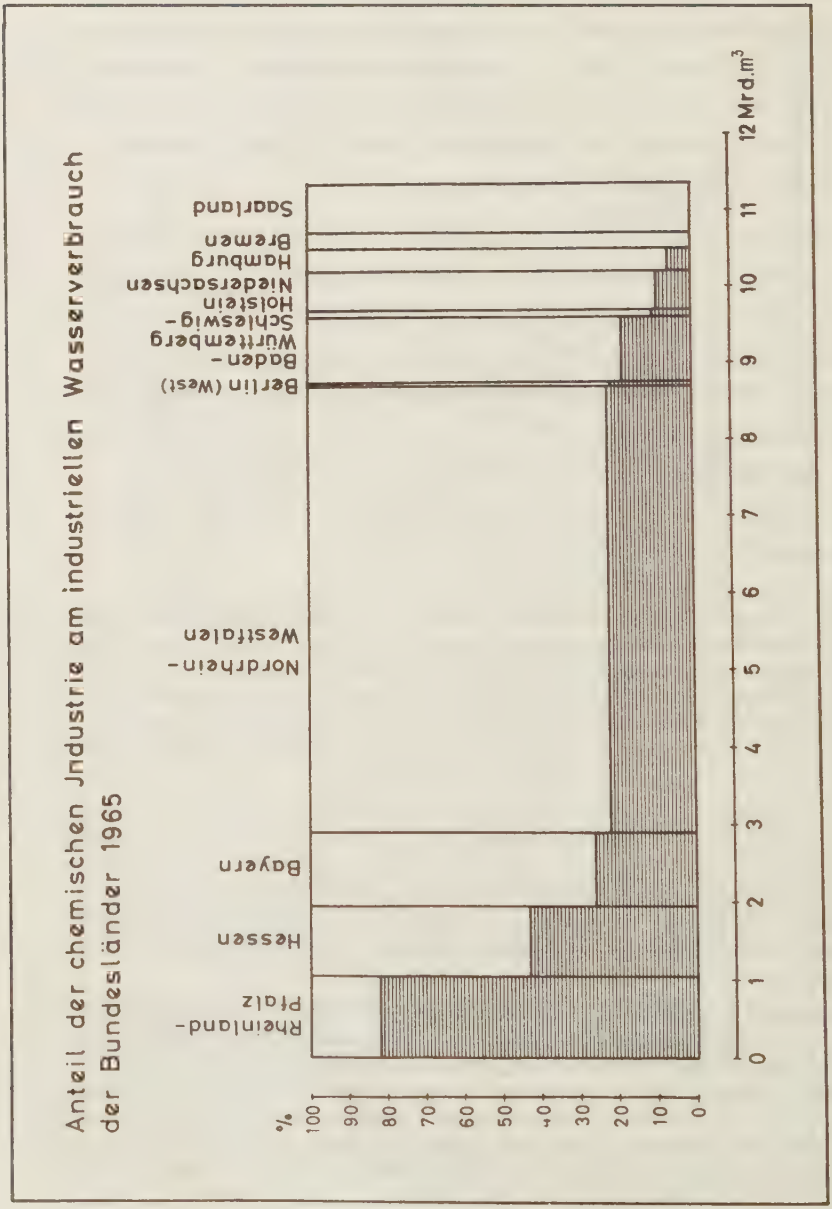

Anteil der chemischen Industrie am industriellen Wasserverbrauch der Bundesländer 1965
%
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
Rheinland-Pfalz
Hessen
Bayern
Nordrhein-Westfalen
Berlin (West)
Baden-Württemberg
Schleswig-Holstein
Niedersachsen
Hamburg
Bremen
Saarland
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12 Mrd.m³

Abb. 8

ANTEIL DER BASF AM WASSERAUFKOMMEN DER CHEMISCHEN INDUSTRIE IN RHEINLAND-PFALZ UND IM BUNDESGEBIET [27) 28)]

Jahr	Ind. Wasseraufkommen Rheinland-Pfalz		Chemieindustrielles Wasseraufkommen Rheinland-Pfalz			Wasseraufkommen BASF		
	Insg.	Anteil a. ind. Wasseraufk. d. Bundesr.	Insg.	Anteil a. ind. Wasseraufk. i. Rheinland-Pfalz	Anteil a. chemieind. Wasseraufkommen d. Bundesrepublik	Insg.	Anteil a. chemieind. Wasseraufkommen i. Rhl.-Pf.	Anteil a. chemieind. Wasseraufkommen d. Bundesrepublik
	1000 m^3	%	1000 m^3	%	%	1000 m^3	%	%
1951	504 281		372 512			336 740		
1952	489 828		356 369			356 180		
1955	739 375		558 493			569 305		
1957	970 979	12,7	765 315	78,9	38,7	715 045	93,5	36,2
1959	1 050 017	10,8	854 386	81,4	35,7	787 380	92,1	32,8
1961	986 765	9,5	799 147	81,0	31,3	728 710	91,2	28,6
1963	1 010 559	9,4	833 579	82,5	30,2	764 618	91,7	27,8
1965	1 063 605	9,3	869 314	81,6	28,9	798 122	91,9	26,6
1967						940 462		

Tab. 9

Somit bestätigt auch eine großräumigere Betrachtung erneut die dominierende Rolle der BASF als Großwasserverbraucher des Rhein - Neckar-Gebiets.

2.2 Kategorien des chemiebetrieblichen Wasserbedarfs und die Möglichkeiten seiner Deckung

2.21 Überblick

Lieferten die bisherigen Daten einen zunächst noch vordergründigen Beweis für die Wasserintensität des Chemiebetriebs, so soll nunmehr nach den spezifischen chemisch-technologischen Betriebsbedingtheiten gefragt werden, die jene Wasserintensität erst zu einer Anforderung an den Raum werden lassen. Die dabei zu entwickelnden Kategorien des betrieblichen Wasserbedarfs stehen mit ihren Reinwasseranforderungen differierenden quantitativen und qualitativen Merkmalen des örtlichen Wasseraufkommens gegenüber; ihre Überwindung und Ausrichtung auf die betrieblichen Erfordernisse schaffen das eigentliche chemiewirtschaftliche Wasserproblem.

Im Überblick lassen sich für die Chemische Industrie grundsätzlich vier Verwendungsbereiche der betrieblichen Wassernutzung nachweisen:

1. Kühlwasser,
2. Kesselspeisewasser,
3. sonstiges Fabrikationswasser und
4. Belegschaftswasser,

eine Unterteilung, deren Berechtigung im Einzelnen noch nachzuweisen sein wird, die aber allein schon den Vorteil besitzt, auch von der bereits

---

27) Die für den Zeitraum von 1951-1965 gemachten statistischen Angaben (mit Ausnahme der BASF) beziehen sich auf die gleichen Quellen, wie bei Tab. 6 im Anhang jeweils angegeben.

28) Wegen der für 1951-1955 bereits eingangs erwähnten Unsicherheiten in den wasserstatistischen Angaben auf Landes- und Bundesebene wurde auf den Ausweis der prozentualen Anteilswerte verzichtet; vgl. z.B. das für 1955 angegebene offizielle chemieindustrielle Wasseraufkommen von Rheinland-Pfalz mit dem der BASF.

mehrfach zitierten amtlichen Statistik benutzt zu werden, so daß hier eine direkte Vergleichbarkeit der wasserwirtschaftlichen Daten der BASF mit denen der Chemischen Industrie und anderer Industriezweige gegeben ist.

Bei der Verwendung der im eigenen Betrieb genutzten Wassermenge kommt dem Kühlwasserverbrauch vorrangige Bedeutung zu. Der aus Tab. 11 ersichtliche Anteil liegt für die Chemische Industrie bei knapp 80 %, für die BASF im Jahre 1967 sogar noch um einiges höher. Eine erste Vorstellung von den Größenordnungen der Kühlwassernutzung im Vergleich zu den restlichen Wasserkategorien vermittelt außerdem Tab. 10 zum spezifischen Wasserverbrauch von drei chemischen Massenprodukten:

SPEZIFISCHER WASSERVERBRAUCH VON DREI CHEMISCHEN MASSENPRODUKTEN[29)]

(m^3/t Endprodukt)

SCHWEFELSÄURE: (bezogen auf SO_3)	Kesselspeisewasser	1,3
	Fabrikationswasser (Trinkwasserqualität)	0,2
	Kühlwasser	82,0
		83,5
CHLOR:	Fabrikationswasser (vollentsalzt)	1,6
	Kühlwasser	11,0
		12,6
POLYÄTHYLEN:	Fabrikationswasser	6,0
	Kühlwasser	rd. 225,0
		231,0

Tab. 10

VERWENDUNGSBEREICHE DER BETRIEBLICHEN WASSERNUTZUNG [30)]

Verwendungsbereich	Chemische Industrie im Bundesgebiet 1965 (einschl. BASF)		(ohne BASF)		BASF 1965		1967	
	Mio. m^3	%	Mio. m^3	%	Mio. m^3	%	Mio. m^3	%
Kühlwasser	2 296,438	78,5	1 687,638	79,4	608,80	76,3	761,53	81,0
Kesselspeisewasser	68,379	2,3	56,179	2,6	12,20	1,5	15,10	1,6
Sonst. Fabrikationswasser	526,342	18,0	352,962	16,6	173,38	21,7	160,00	17,0
Belegschaftswasser	34,463	1,2	30,643	1,4	3,82	0,5	3,83	0,4
Nutzung aus Aufkommen	2 925,622	100	2 127,422	100	798,20	100	940,46	100
Ungenutzt abgeleitetes Wasser	10,933	-	10,933	-	-	-	-	-
An Dritte abgegebenes Wasser	66,605	-	66,605	-	-	-	-	-
Insgesamt	3 003,125	-	2 204,960	-	-	-	-	-

Tab. 11

Der Hinweis schließlich, daß bei modernen Produktionsanlagen für anorganische Schwerchemikalien und Kunststoffe mit Kapazitäten von einigen 100 tato zu rechnen ist, erklärt vollends den enormen Kühlwasserbedarf in der Chemischen Industrie sowie sein sprunghaftes Ansteigen bei Produktionsausweitung.

Es ist evident, daß sich unter diesen Umständen die Wasserversorgung des Chemiebetriebs zunächst als quantitatives Problem darstellt, dessen ökonomisch vertretbare Lösung nur im betriebsindividuellen Rückgriff auf die natürliche Standortressource Wasser bestehen kann. Tatsächlich fällt für die Chemische Industrie der Anteil der Eigenförderung am Gesamtwasseraufkommen mit rd. 90 % entsprechend hoch aus. Maßgeblich ist hieran wiederum die Eigenförderung aus Oberflächenwasser (Flüsse, Seen usw.) mit > 50 % (ohne BASF) beteiligt. Die korrespondierenden Zahlen sind für die BASF mit 99 % bzw. 97 % anzugeben (Tab. 12).

2.22 Kühlwasserversorgung

2.221 Reinwasseranforderungen

Es gehört zu den Reaktionsgesetzen chemisch-technischer Verfahrensweise, daß Stoffumwandlungsvorgänge entweder exotherm oder endotherm verlaufen können. Der Chemiebetrieb hat durch seine apparativen Einrichtungen diese Wärmeeffekte zu berücksichtigen[31]. Dabei kann die Beheizung chemischer Apparate entweder durch unmittelbare Energiezufuhr[32]

---

29) Vgl. Ploetz, Theodor: Wasser in der Industrie, a.a.O., S. 106

30) Errechnet bzw. übernommen aus: Statistisches Bundesamt, Wiesbaden (Hrsg.): Wasserversorgung der Industrie 1965, a.a.O., S. 9 ff. Abweichungen in den Summen erklären sich nach gleicher Quelle durch Runden der Zahlen.

31) Vgl. Foerst, Wilhelm (Hrsg.): Ullmanns Encyklopädie der technischen Chemie. Dritte, völlig neu gestaltete Auflage. Bd. 1: Chemischer Apparatebau und Verfahrenstechnik. München-Berlin 1951, S. 1969 ff.; Henglein, F. A.: Grundriß der Chemischen Technik. 11., neu bearbei-

QUELLEN DER BETRIEBLICHEN WASSERVERSORGUNG [33)]

Quelle	Chemische Industrie im Bundesgebiet 1965				BASF			
	(einschl. BASF)		(ohne BASF)		1965		1967	
	Mio. m^3	%	Mio. m^3	%	Mio. m^3	%	Mio. m^3	%
Eigenförderung v. Oberflächenwasser	1 922,283	63,9	1 150,203	52,1	772,08	96,7	913,00	97,1
Eigenförderung v. Grundwasser	776,294	25,8	755,674	34,3	20,62	2,6	21,96	2,3
Fremdbezug v. Wasser	304,548	10,3	299,048	13,6	5,50	0,7	5,50	0,6
Insgesamt	3 003,125	100	2 204,925	100	798,20	100	940,46	100

Tab. 12

oder durch stoffliche Wärmeträger erfolgen. Für die Kühlung kommt nur die letztere Möglichkeit in Betracht.

Großen Anteil hat hier das Wasser als Kühlflüssigkeit. Es kann als solche verwendet werden

1. in Bädern, in welche die zu kühlenden Reaktionsgefäße getaucht werden,
2. in Mantelgefäßen, welche die Reaktoren fest umschließen und
3. in Kühlelementen, wie z.B. Rohrschlangen, die das zu kühlende Medium durchlaufen[34].

Ganz überwiegend bleiben die Kühlvorgänge allerdings auf reine Kondensation beschränkt, d.h. auf die Verflüssigung von Dämpfen, und hier vor allem Wasserdämpfen, die nach ihrer Verwendung als Heizmittel mit ihrem Kondensat erneut der Netzdampferzeugung zugeführt werden. Als Wärmeaustauscher dient grundsätzlich der Rohrbündelkondensator in seinen verschiedenen konstruktiven Spielarten.

Diese wenigen technischen Hinweise lassen bereits erkennen, daß für die o.g. Form der Durchflußkühlung die Sicherstellung ausreichender Kühlwassermengen von entscheidender Bedeutung ist. Die qualitativen Anfor-

---

tete und erweiterte Auflage. Weinheim/Bergstraße 1963, S. 27 ff.; Freier, Rolf: Kesselspeisewasser-Kühlwasser. Technologie-Betriebsanalyse. 2., verbesserte und erweiterte Auflage. Berlin 1963, S. 118 ff.

32) Beheizung durch Brennstoffe, Strahlungsheizung, Elektrische Widerstandsheizung, Lichtbogen-, Induktions- u. dielektrische Heizung.

33) Errechnet bzw. übernommen aus: Statistisches Bundesamt, Wiesbaden (Hrsg.): Wasserversorgung der Industrie 1965, a.a.O., S. 5 ff. Da die BASF nur für die Zusatzerhebung zum Industriebericht eine Aufschlüsselung des betrieblichen Wasserbedarfs nach Verwendungsbereichen vornimmt, mithin zuletzt für 1967, wurde auch hinsichtlich der Wasserquellen zur besseren Vergleichbarkeit mit Tab. 11 die entsprechenden Jahre herangezogen. Für 1969 ergibt sich folgende Aufteilung: Oberflächenwasser: 1 066,0 Mio. m^3 (97,5 %), Grundwasser: 22,4 Mio. m^3 (2,0 %) und Fremdbezug: 6,1 Mio. m^3 (0,5 %).

34) Kühlfunktionen erfüllt das Wasser auch nach seiner Überführung in Eis. Es wird in der BASF vornehmlich im Farbenbetrieb eingesetzt. Der Gesamtverbrauch lag 1968 bei rd. 48 000 t.

derungen sind dagegen im allgemeinen nicht sehr hoch. Sie lassen sich in physikalischer, chemischer und biologischer Hinsicht wie folgt zusammenfassen:

1. Kühlwasser soll nach Möglichkeit frei von Schwebstoffen sein (< 5 mg/l)[35]. Anderenfalls besteht die Gefahr, daß es zu Ablagerungen und Verstopfungen im Kühlsystem kommt, wodurch der Vorgang des Wärmeaustauschs beeinträchtigt, wenn nicht sogar unmöglich gemacht wird.

2. Kühlwasser soll zur Vermeidung von Korrosion und Verkrustung des Kühlsystems eine neutrale bis schwach basische Reaktion zeigen (pH 7 - pH 9), einen Gesamtsalzgehalt von < 3000 mg/l aufweisen sowie eine Karbonathärte von < 6° dH[36] enthalten[35]. Die Notwendigkeit zur Entkarbonisierung entfällt lediglich für ein Kühlwasser bis 55°C (Oberflächentemperatur). Schließlich sollte der Anteil an freier Kohlensäure wegen ihrer rostschutzverhindernden und metallangreifenden Wirkung gering sein (< 10 mg/l).

3. Die Belastung des Kühlwassers mit organischen Verunreinigungen sollte sich im unteren Grenzbereich bewegen. Nicht nur, daß Algen- und Bakterienwachstum im Kühlsystem zur Bildung eines "biologischen Rasens" führen kann, mit der unerwünschten Wirkung des verminderten Wärmeaustauschs; im fortgeschrittenen Stadium setzen vielmehr Faulprozesse ein, deren Folgeprodukte, wie

---

35) Vgl. hierzu auch Freier, Rolf, a.a.O., S. 119

36) Die Wasserhärte wird noch überwiegend in Deutsche Härtegrade (°dH) angegeben. 1°dH ≙ 10,0 mg/l CaO
≙ 17,9 mg/l $CaCO_3$
≙ 28,9 mg/l $Ca(HCO_3)_2$
Andere Maßeinheiten sind z.B. "ppm" (parts per million), mit dem Vorteil der direkten Umrechnung in die Molkonzentration: 100 ppm als $CaCO_3$ = 1 Mol/kg bzw. "mval/l" (Millival oder Milligrammäquivalent je Liter), für die folgende Umrechnungsmöglichkeiten bestehen:

$$1\ \text{mval} = \frac{1\ \text{mmol}}{\text{Wertigkeit der Erdalkaliionen (= 2)}}$$

$$x\ \text{mval/l} \cdot 2{,}8 = {}^{\circ}\text{dH}$$

organische Säuren, Schwefelwasserstoff und Ammoniak, korrodierende Wirkung haben. Das weitere Wachstum des Rasens führt letztlich zur völligen Verschlammung und damit Funktionsaufgabe des Kühlers.

Selbst diese wenigen Anforderungen an die Wassergüte werden nur selten mit den qualitativen Merkmalen des örtlichen Wasservorkommens übereinstimmen. Aufbereitende Maßnahmen sind deshalb die logische Konsequenz für bestehende Disparitäten.

2.222 Rohwasseranalyse des Flußwassers

Nach der Formulierung von Reinwasseranforderungen soll nunmehr die Eignung des örtlichen Wasservorkommens für chemiebetriebliche Kühlzwecke untersucht werden.

Dabei ist zunächst das Mengenproblem zu beachten, das sich zwangsläufig aus dem hohen Wasserverbrauch einer Durchflußkühlung ergibt. Es verweist die Chemische Industrie bei ihrer Standortwahl grundsätzlich in die Nähe ausreichender Wasservorkommen. Für die BASF ist es der Rhein, der die Kühlwasserversorgung mengenmäßig sicherstellt. Ihm entnimmt das Werk im Jahresmittel rd. 34 m^3/s [37]. Das sind bei einem Mittelwasser des Rheins von rd. 1 300 m^3/s noch nicht einmal 3 % seiner Wasserführung. Selbst bei Verwendung der seit 1921 bekanntgewordenen absolut niedrigsten Abflußmenge als Bezugsbasis wird ein Anteil von 10 % nicht überschritten (Tab. 13).

Wird nach den qualitativen Merkmalen des örtlichen Wasservorkommens gefragt, so sind die Verhältnisse zumeist nicht mehr so günstig zu beurteilen. Oberflächengewässer, und hier insbesondere Flußwasserläufe, können heute nicht mehr als unberührte Naturerscheinungen angesehen werden. Zu vielfältig sind die Einwirkungsmöglichkeiten der modernen Industriegesellschaft, als daß die biologische Selbstreinigungskraft der

---

37) Bezugsbasis: Flußwasserförderung der BASF 1969 = 1,066 Mrd. m^3

ABFLUSSSPENDEN DES RHEINS 1936 - 1965 (ohne 1945)[38)39)]
(m^3/s)

Pegel	Niedrig-wasser NQ	Mittel-wasser MQ	Hoch-wasser HQ	Absolut niedrigste Abflußmenge 1936 - 1965 NNQ	seit 1921 NNQ
Maxau	340	1 220	4 350	340 (4.11.47)	340 (4.11.47)
Worms	408	1 370	5 600	408 (5.11.47)	370 (29.3.21)

Tab. 13

Gewässer ein ausreichendes Regulativ sein könnte. Der Rhein macht hier keine Ausnahme. Die BASFinterne Rohwasseranalyse zeigt deutlich den Stand der erreichten Verunreinigung (Tab. 14). Danach sind es insbesondere

1. die nachgewiesenen suspendierten Stoffe, deren Werte zudem noch stark streuen, sowie
2. der Gehalt an oxidierbaren organischen Verunreinigungen,

die eine Aufbereitung des Flußwassers notwendig machen.

---

38) Entnommen aus: Landesamt für Gewässerkunde Rheinland-Pfalz, Mainz (Hrsg.): Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch. Rheingebiet. Abflußjahr 1965. Mainz 1968, S. 113 und 114

39) Die einander gegenübergestellten Pegel Maxau und Worms lassen deutlich den Einfluß des Neckars erkennen, in dessen Mündungsbereich die BASF liegt. Seine Wasserführung wirkt sich damit zwangsläufig auch auf die wasserwirtschaftliche Situation des Werkes aus.

CHEMISCH - PHYSIKALISCHE WASSERUNTERSUCHUNG

(Rheinwasseranalytik 1964[1])

Bezeichnung der Probe: Rohwasser bzw. Kiesfiltrat Einlaufwerk BASF Süd

		Jahresdurchschnitt	Maxima	Minima
Beschaffenheit bei der Entnahme:		trüb		
Wasserstand (Pegel L3)[2]	cm	285	581 (885)[3]	145 (88)
Feststoffe (105°C)	mg/l	3	10	1
Temperatur des Wassers	°C		23	0
pH-Wert		7,3		
Abdampfrückstand (105°C)	mg/l	430	620	220
dessen Glührückstand (685°C)	mg/l	345 (80)	515 (83)	160 (73)
Oxidierbarkeit, $KMnO_4$	mg/l	28	50	20
p-Acidität	mval/l	0,25	0,30	0,20
m-Acidität	mval/l	0 / 4,2[4]	0 / 7,5[4]	0 / 1,5[4]
p-Alkalität	mval/l	0	0	0
m-Alkalität	mval/l	2,70	3,0	2,0
Gesamthärte	°d	10,1	11,6	7,3
Karbonathärte	°d	7,6	8,4	5,6
Nichtkarbonathärte	°d	2,5	3,2	1,7
Freie Kohlensäure, CO_2	mg/l	11,0	13,2	8,8
Zugehörige Kohlensäure, CO_2, für 15°C	mg/l	4,8	7,5	2,0
Überschüssige Kohlensäure, CO_2	mg/l	vorh.	vorh.	vorh.
Kohlensäure-Defizit, CO_2 (berechnet n. Tillmans)	mg/l	0	0	0
Sauerstoff, O_2, Sättg.grad Rohwasser	%	70	82	59
Filtrat	%	45	50	32

Tab. 14

Fortsetzung Rheinwasseranalytik 1964:		Jahresdurchschnitt	Maxima	Minima
Kationen:				
Calcium, Ca^{2+}	mg/l	57	65	41
Magnesium, Mg^{2+}	mg/l	9[5]	11	7
Gesamteisen, Fe^{2+}	mg/l	$\leq$ 0,1	0,5	
Mangan, Mn^{2+}	mg/l	0		
Natrium, Na^{+}	mg/l	75[6][7]	140	25
Kalium, K^{+}	mg/l	7	11	3
Ammonium, NH_4	mg/l	0,5	1,5	0,2
Anionen:				
Hydrogenkarbonat, HCO_3^-	mg/l	165	103	122
Sulfat, SO_4^{2-}	mg/l	39	44	35
Chlorid, Cl^-	mg/l	116[6]	230	23
Nitrat, NO_3^-	mg/l	4	7	2
Nitrit, NO_2^-	mg/l	0,4	3	0
Phosphat, PO_4^{3-}	mg/l	0,4	1	0,2
Schwefelwasserstoff, Sulfid, S^{2-}	mg/l	< 0,1		
Silikat, SiO_2	mg/l	3	4	2

Tab. 14 (Fortsetzung)

Fortsetzung Rheinwasseranalytik 1964 (Anmerkungen):

1) Die Werte der Tabelle ergaben sich aus der Flußwasserkontrolle im Zeitraum Oktober 1963 - Januar 1965. Sie decken sich im wesentlichen mit den im Zeitraum 1957 - 1962 und bis einschließlich 1968 ermittelten Daten.

2) Werte ohne () sind Durchschnittswerte ab 1957. Eigentliche Extremwerte sind in () gesetzt.

3) Aus dem Jahre 1955

4) Aus der Tabelle errechnete Werte für entbastes Wasser werden durch zugehörige Kationenäquivalente (4,3/7,5/1,8) bestätigt.

5) 21 % der Gesamthärte wird durch Mg verursacht.

6) Die NaCl-Konzentration wird wesentlich beeinflußt durch die Abwässer der Kaliindustrie am Oberrhein. Die Werte der Spalte "Jahresdurchschnitt" gelten für einen Wochendurchschnitt bei mittlerem Wasserstand unter gleichzeitiger Berücksichtigung der in Tab. 30 angegebenen und periodisch wechselnden NaCl-Konzentrationen.

7) Der Alkalianteil am Gesamtkationengehalt, mval/l im Entkarbonisat, beträgt (3,44 : 5,05) = 68 % (im Brunnenwasser = 46 %)

Tab. 14 (Fortsetzung)

2.223 Gewinnung und Aufbereitung des Flußwassers

Die chemiebetriebliche Flußwasseraufbereitung beschränkt sich zunächst auf die Beseitigung bzw. Verringerung des Feststoffgehalts im Rohwasser. Grob- und feinmechanische Siebreinigung, Absetzbecken und Filtration sind die üblichen verfahrenstechnischen Hilfsmittel. Eine chemische Behandlung, wie Flockung, Entkarbonisierung, Kationen- und Anionenaustausch sowie Entgasung, verbietet sich bei den im Regelfall geförderten großen Wassermengen allein schon aus wirtschaftlichen Gründen. Einzig die Behandlung der organischen Verunreinigungen verlangt den Zusatz von Chemikalien mit bakterizider und fungizider Wirkung (z.B. Chlor, Natriumhypochlorid).

An der Flußwasserversorgung des Ludwigshafener Werks der BASF beteiligen sich die drei Wasserwerke Süd, Mitte und Nord mit den in

Tab. 15 angegebenen Einlauf- bzw. Filterkapazitäten. Sie entnehmen dem Rhein die Wassermengen mit Heberleitungen und Einlaufwerken. Die Verwendung von Heberleitungen läßt sich historisch begründen, da die Werksgrenzen ursprünglich nicht bis zum Rheinufer gehen durften, um die Uferkante für das Treideln der Schiffe freizuhalten bzw. den Rheindamm aus Gründen des Hochwasserschutzes nicht zu beschädigen.

EINLAUF- UND FILTERKAPAZITÄTEN DER WASSERWERKE DER BASF

Werk	Rhein-km	Einlaufkapazität m^3/h	Filterkapazität m^3/h
Süd	426,0 + 07	Heberleitungen 14 000	Offenfilter 24 000
	426,2 + 74	" " 14 000	
Mitte	427,9 + 90	Einlaufwerk 54 000	Offenfilter 20 000
	428,0 + 24	" " 23 000	Druckfilter 28 000
Nord	429,5 + 38	Heberleitungen 40 000	Offenfilter 62 000
	429,5 + 84	Einlaufwerk 36 000	
Insgesamt		181 000	134 000

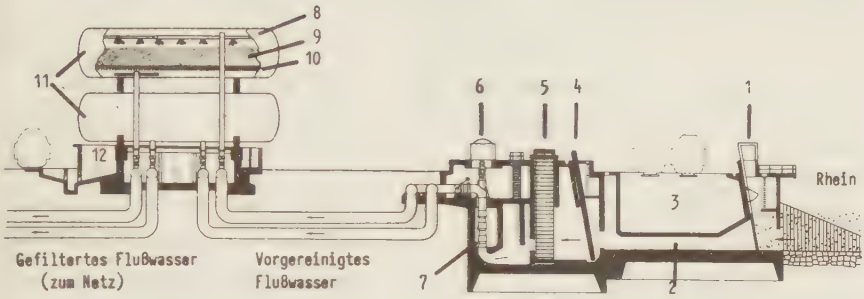
Tab. 15

Die Reinigung des Flußwassers - in den Wasserwerken Süd und Mitte bis 1955 zu 90 % lediglich auf grob- und feinmechanische Siebreinigung beschränkt, im Oppauer Werksteil dagegen von vornherein (1912) in offener Sandfilteranlage durchgeführt - geschieht heute entweder in offenen Kiesfiltern oder in Druckfiltern. Die größere Störanfälligkeit von offenen Kiesbettfiltern bei plötzlich auftretenden Schmutzwasserwellen im örtlichen Flußwasser hat die BASF 1964 zum Bau eines Druckfilterwasserwerks veranlaßt. Es kann der technischen Auslegung nach zu den modernsten seiner Art gerechnet werden. Deshalb sei im folgenden auch am Beispiel dieser Anlage der Weg des Rohwassers bis zum aufbereiteten Kühlwasser etwas näher erläutert (Abb. 16):

Vor den Einlaufwerken halten Schwimmstoffabweiser zunächst leicht entzündliche Stoffe, wie z.B. von der Rheinschiffahrt stammende Öle, dem

WASSERWERK MITTE DER BASF

(Druckfilteranlage)



1 Grobrechen	7 dreistufige Förderpumpe
2 Einlaufkanal	8 Wasserverteilung
3 Erdreich	9 Filterkiesfüllung
4 Feinrechen	10 Düsenboden
5 Siebband	11 Druckfilter
6 Antriebsmotor	12 Filterkiesaufbereitung

Abb. 16

betrieblichen Flußwassernetz fern. Sodann durchfließt das Rheinwasser einen Grobrechen (lichter Stababstand 60 mm), einen Feinrechen (lichter Stababstand 15 mm) und schließlich ein umlaufendes Siebband (V2A-Gewebe, Maschenweite 0,8 mm). Bei der sich hieran anschließenden Druckreinigung wird das Wasser bei einem Betriebsdruck von 4 - 5 at durch 2,5 m starke Filterkiesfüllungen (Körnung 1,2 - 2,2 bzw. 2 - 3 mm) gepreßt und an das Flußwassernetz des Werkes abgegeben. Es durchzieht das Werk mit Rohrdurchmessern von 50 - 1 800 mm und hatte 1968 eine Länge von rd. 140 km erreicht. Der Filtervorgang vollzieht sich in 12 Stahlbehältern von je 6 m Durchmesser und 25 m Länge, die als Freiluftanlage in 2 Schichten zu je 6 Stück übereinander angeordnet sind (Abb. 17). Das Einlaufwerk liegt mit seiner Sohle rd. 11,5 m unter der Erdoberfläche des Rheinvorlandes, damit auch bei niedrigstem Wasserstand noch

genügend Wasser gefördert werden kann. Die Laufzeiten der Filter bestimmen sich weitgehend nach dem Grad der Rheinwasserverschmutzung; sie betragen im allgemeinen 8 - 10 Stunden. Danach muß 40 - 50 Minuten rückgespült werden, zunächst 20 Minuten mit einem Luft-Wasser-Gemisch und anschließend mit bereits vorgereinigtem Filtratwasser (Luftgeschwindigkeit = 70 - 80 m/h, Wassergeschwindigkeit = 20 - 30 m/h).

Der Abscheidegrad der Druckfilteranlage bewegt sich je nach Belastung und Feststofffracht des Rheins zwischen 75 und 95 %. Um die Wirksamkeit der Filtration voll zu würdigen, muß man sich vergegenwärtigen, daß die Schwebstofffracht des Rheins bei normalem Wasserstand 10 - 30 mg/l, nach längeren Regen- und Hochwasserperioden das 10 fache und mehr dieser Werte betragen kann (Abb. 18 u. Tab. 19). Eine gänzlich ungefilterte

DRUCKFILTERWASSERWERK MITTE

Abb. 17

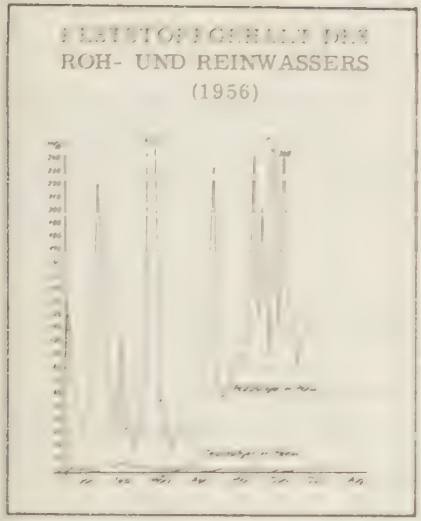


Abb. 12

Flußwasserversorgung der BASF würde somit stündlich im Normalfall rd. 1,2 - 3,6 t, im Extremfall 12 - 36 t und mehr Feststoffe in das betriebliche Netz gelangen lassen[40].

Zur Verhinderung der organischen Ablagerungen bzw. des biologischen Wachstums im Kühlsystem hat die BASF schon frühzeitig ihre offenen Kühlwasserkreisläufe gechlort. Nachdem jedoch die kontinuierliche Zugabe aktiven Chlors infolge sich einstellender Chlorresistenz organischer Lebewesen wirkungslos blieb, ging auch die BASF zur Stoßchlorung über, d.h. zur stoßweisen Zugabe von Chlor in das Spülwasser während der Luft-Wasser-Spülung mit einer Konzentration von 20 - 40 mg/l. Dieser hohe Chlorüberschuß hält nicht nur die biologischen Wachstumsprozesse im Kühlsystem weitgehend unter Kontrolle, sondern bedeutet gleichzeitig eine Ersparnis an Dosierchemikalien.

FESTSTOFFGEHALT DES ROH- UND REINWASSERS
(Druckfilterwerk Mitte, Jahresmittelwerte in mg/l)

	Rohwasser	Reinwasser
1967	31	9
1968	30	9
1969	37	12

Tab. 19

40) Bezugsbasis: Flußwasserförderung der BASF 1969: 1,066 Mrd. m^3

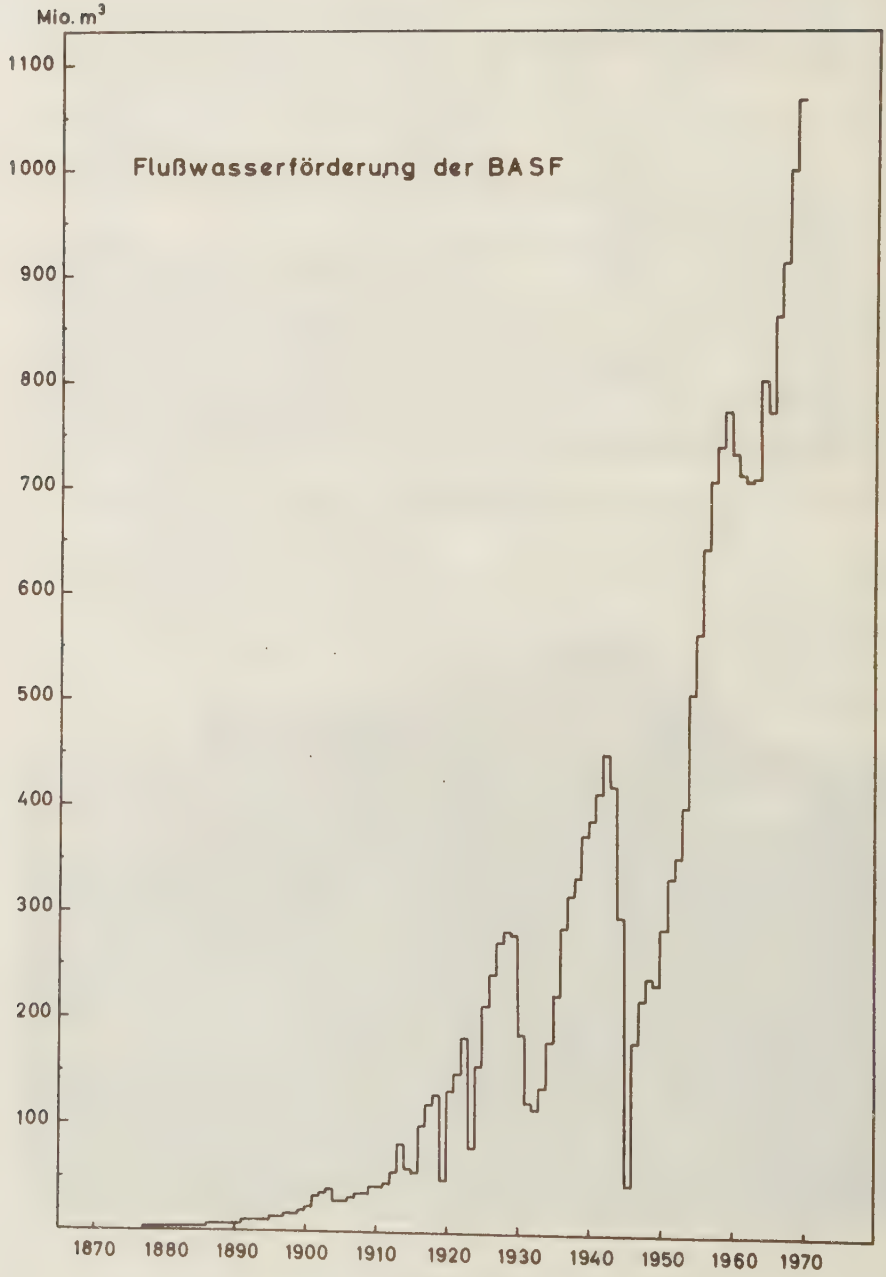

Mio. m³
Flußwasserförderung der BASF
1100
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
1870
1880
1890
1900
1910
1920
1930
1940
1950
1960
1970

Abb. 20

Abb. 20 zeigt die Entwicklung des Flußwasserverbrauchs seit Gründung der BASF. Das Profil kann zugleich als Gradmesser der jeweiligen Produktionstätigkeit angesehen werden: Deutlich sind die Zeiten weltwirtschaftlich bzw. -politisch bedingter Produktionseinschränkung zu erkennen, ebenso aber auch der sprunghafte Anstieg seit Ende des 2. Weltkrieges.

2.224 Betriebliche Schwierigkeiten bei der Flußwasserversorgung

Trotz der geschilderten Aufbereitungsmaßnahmen geben die Verunreinigungen des Rheinwassers Anlaß zu Schwierigkeiten in der Flußwasserversorgung. Sie treten zwangsläufig in den betriebseigenen Wasserwerken zuerst auf und führen hier zu frühzeitigem Absinken der Filterleistungen.

Es wurde bereits angedeutet, daß die Rückspülhäufigkeit als Gradmesser der Rheinwasserverschmutzung angesehen werden kann. Zunächst sind hierfür die suspendierten Stoffe verantwortlich zu machen, wobei die BASF-Erfahrung lehrt, daß es weniger der gewichts- oder volumenmäßige Anteil im Rohwasser zu sein scheint, der seine Filtrationsfähigkeit

BIOLOGISCHER RASEN IN KIESFILTERN

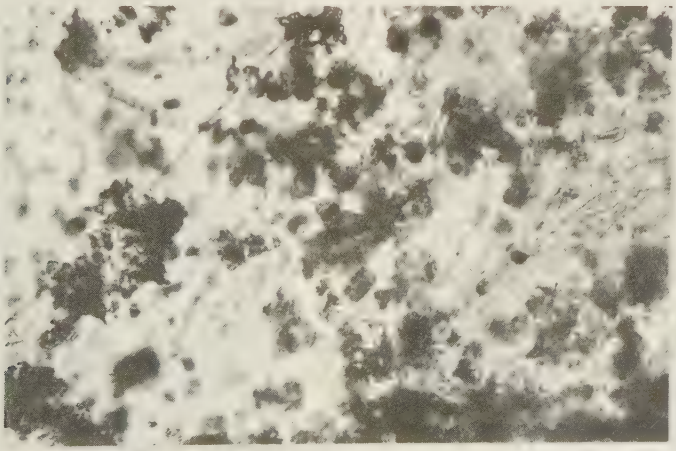


Abb. 21

VERSCHLAMMTE UND GEREINIGTE LUFTPOLSTERROHRE
(Druckfilterwerk Mitte)

Abb. 22

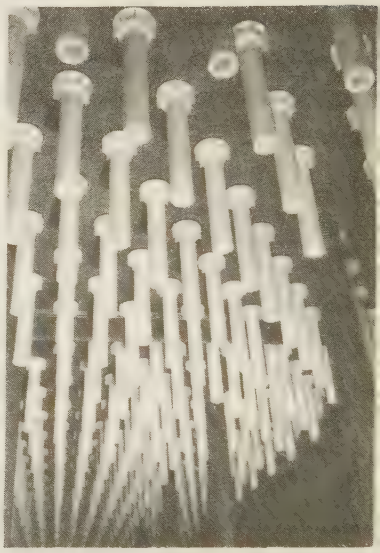


Abb. 23

VERSCHLAMMTER KONDENSATOR

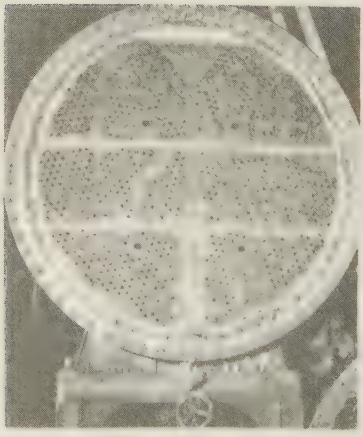


Abb. 24

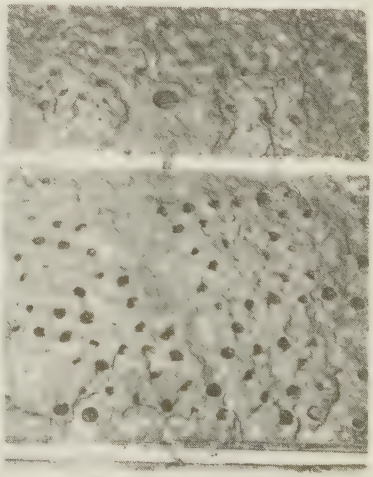


Abb. 25

herabsetzt, als vielmehr die Konsistenz bzw. Struktur dieser Stoffe. Als Merkmale mit abnehmendem Filtrationsverhalten werden genannt: sandig, feinkörnig-tonig, sperrig-faserig.

Eine verminderte Filterwirkung läßt sich auch auf den als BSB_5 [41] mit 3 - 10 mg/l angegebenen organischen Stoffen im Rheinwasser zurückführen, da sie das Wachstum von Algen, Pilzen (Sphärotilus), Bakterien und sonstigen Organismen im Kiesbett und in den Filterdüsen begünstigen. Die Folge ist eine Verschleimung bzw. Verstopfung, die auch durch normale Rückspülung nicht beseitigt werden kann. Erst die erwähnte Stoßchlorung hat wirksame Abhilfe geschaffen (Abb. 21, 22 u. 23).

Aber nicht nur in den Wasserwerken, sondern auch in den Produktionsbetrieben, die auf die Verwendung von Durchflußkühlern angewiesen sind, treten infolge der organischen Belastung ähnliche Schwierigkeiten auf. So können Kondensatoren aufgrund der erwähnten biologischen Wachstumsprozesse im Lauf der Zeit total verschlammen und ihre Funktion einstellen (Abb. 24 u. 25). Die hierdurch notwendig werdenden Reinigungsarbeiten stellen unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten eine zeitraubende, und damit kostspielige Betriebsunterbrechung dar.

Weiterhin kann auch die unterschiedliche Wasserführung des Rheins die Versorgungslage des Chemiebetriebes stark beeinträchtigen, insbesondere wenn die Wasserentnahme noch mit Heberleitungen erfolgt. So wird in der BASF berichtet, daß am 4.11.47 mit dem Absinken des Rheinwasserspiegels auf 90 cm das Wasserwerk Nord seine Förderleistung wegen ungenügender Eintauchtiefe der Rohrschenkel von 300 000 m^3/Tag auf 240 000 m^3/Tag einschränken mußte. Mit welchen Schwankungen hier zu rechnen ist, zeigen überdies die lfd. Pegelbeobachtungen des Rheins am Standort Mannheim/Ludwigshafen. So folgt dem extrem niedrigen Wasserstand von 86 cm am 4.1.54 bereits 1 Jahr später am 17.1.55 mit 8,83 m der bisher höchste Stand dieses Jahrhunderts (Tab. 26).

---

41) Der biochemische Sauerstoffbedarf (BSB) dient als Maßstab für den biologischen Verschmutzungsgrad eines Gewässers. Er wird als diejenige Sauerstoffmenge definiert, den die Mikroorganismen zum völligen oxidativen Abbau organischer Stoffe im Wasser bei 20° C und einer Zehrungsdauer von 5 Tagen (BSB_5) benötigen.

HAUPTZAHLEN ZU DEN WASSERSTÄNDEN DES RHEINS[42)]
Pegel: Mannheim
(cm)

1956 - 1965					seit 1801	
NW	MNW	MW	MHW	HW	NNW	HHW
92	130	292	591	734	92 (7.2.1963)	943 (3.11.1824)

NNW : Überhaupt bekannter niedrigster Wert
NW : Niedrigster Wert im betrachteten Zeitraum
MNW : Mittlerer niedrigster Wert im betrachteten Zeitraum
MW : Mittelwert (arithm. Mittel) im betrachteten Zeitraum
MHW : Mittlerer höchster Wert im betrachteten Zeitraum
HW : Höchster Wert im betrachteten Zeitraum
HHW : Überhaupt bekannter höchster Wert

Tab. 26

Schließlich soll noch auf die jahreszeitlich bedingten Schwankungen und den damit notwendigerweise verbundenen kapazitiven Schwierigkeiten in der betrieblichen Flußwasserversorgung hingewiesen werden. Mit Temperaturanstieg des Kühlwassers vermindert sich bei sonst gleichen Bedingungen das Temperaturgefälle als treibende Kraft der stofflichen Wärmeübertragung. Um definierte Wärmeübergangsverhältnisse aufrechtzuerhalten, müssen die Strömungsgeschwindigkeit des wärmeabführenden Mediums und damit der spezifische Kühlwasserverbrauch erhöht werden. Diagramm 27 zeigt deutlich, wie bei der BASF mit steigender Rohwassertemperatur sich zwangsläufig auch die Flußwasserförderung erhöht.

42) Landesamt für Gewässerkunde Rheinland-Pfalz in Mainz (Hrsg.): Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch, a.a.O., S. 34

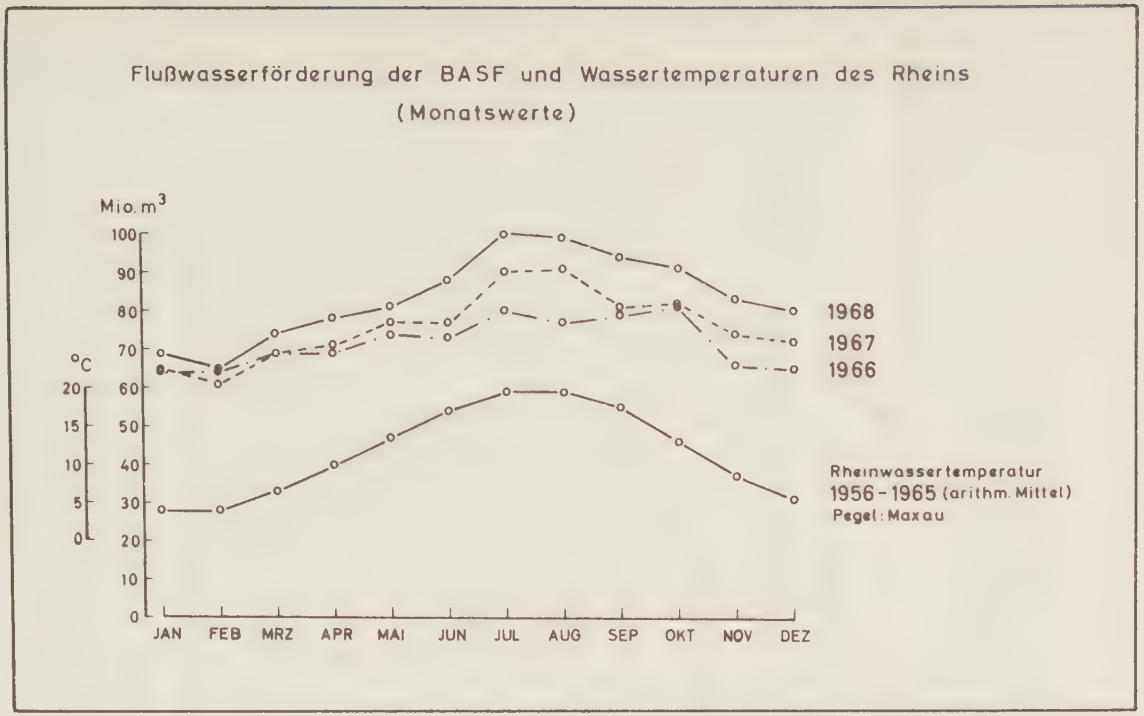

Flußwasserförderung der BASF und Wassertemperaturen des Rheins
(Monatswerte)
Mio. m³
°C
1968
1967
1966
Rheinwassertemperatur
1956 - 1965 (arithm. Mittel)
Pegel: Maxau
JAN
FEB
MRZ
APR
MAI
JUN
JUL
AUG
SEP
OKT
NOV
DEZ

Abb. 27

2.23 Kesselspeisewasserversorgung

2.231 Reinwasseranforderungen

Die im Überblick bereits genannte zweite Kategorie des chemiebetrieblichen Wasserbedarfs, das Kesselspeisewasser, tritt in der mengenmäßigen Bedeutung gegenüber dem Kühlwasser weit zurück (Tab. 11). Dafür sind die Reinwasseranforderungen mit ihren Qualitätsnormen ungleich höher anzusetzen. Sie zwingen den Chemiebetrieb zu umfangreichen und kostspieligen Aufbereitungsmaßnahmen.

Bevor das Kesselspeisewasser seine betrieblichen Funktionen erfüllen kann, muß es in den dampfförmigen Aggregatzustand überführt werden. Ob als Heizmittel oder Roh- bzw. Hilfsstoff für chemische Reaktionen, der Bedarf an Prozeßdampf ist extrem hoch (Tab. 5). Ein Fremdbezug scheidet wegen der Wärmeübertragungsverluste bei größeren Entfernungen weitgehend aus, so daß die Chemieindustrie grundsätzlich bestrebt ist, ihren Bedarf am jeweiligen Standort durch Selbsterzeugung zu decken. In ökonomisch sinnvoller Weise läßt sich das am besten durch Verbund mit der betrieblichen Elektrizitätswirtschaft erreichen. Daher wird zunächst Höchstdruckdampf von 100 - 200 at erzeugt, um ihn anschließend in Gegendruckturbinen unter gleichzeitiger Umwandlung von mechanischer in elektrische Energie auf verschiedene, verfahrenstechnisch zu fordernde Druckstufen zu entspannen[43]. Es ist evident, daß sich die noch zu definierenden Reinwasseranforderungen für Kesselspeisewasser in erster Linie auf die Bedingungen des Dampfkesselbetriebes zu beziehen haben. Die roh- bzw. hilfsstoffmäßige Beteiligung des Wasserdampfes am Prozeßgeschehen soll daher zunächst noch unerörtert bleiben.

Auch für die Dampfgewinnung gilt die bereits in anderem Zusammenhang erwähnte thermodynamische Forderung nach optimalen Wärmeübergangsverhältnissen. Das bedeutet hier sowohl die Verwendung eines Heizflächen-

---

43) Hochdruck (HD): 40 - 100 at; Mitteldruck (MD): 14 - 20 at; Niederdruck (ND): 1,5 - 6 at

materials mit hoher Wärmeleitfähigkeit, als auch die Tendenz zu steigenden spezifischen Heizflächenbelastungen. Die Entwicklung vom Einflammrohrkessel über den Schrägrohrkessel bis hin zu den modernen Höchstdruck-Steilrohrkessel (Benson) gibt deutlich das Bestreben nach Verwirklichung dieses Grundsatzes wieder.

Nun hat sich aber mit dem erreichten Stand der konstruktiven Verbesserungen der mechanische und thermische Beanspruchungsgrad derart erhöht, daß zusätzliche Belastungen durch Verunreinigungen aus dem Speisewasser möglichst minimal zu halten sind. So kann z.B. schon eine 0,2 mm starke Kesselsteinschicht zu lokalen Überhitzungserscheinungen und damit zu Ausbeulungen an den Rohren führen - ganz abgesehen von den verhängnisvollen Wirkungen der unmittelbar zerstörenden Verunreinigungen, wie der freien Säuren, CO_2, O_2 und diversen Salzen[44].

Für das Kesselspeisewasser ergibt sich somit die Forderung, daß es insbesondere frei von (1) Korrosionserregern und (2) Härtebildnern sein muß. Der für einen störungsfreien Dampfkesselbetrieb notwendige hohe Reinheitsgrad zeigt sich auch in den Richtwerten der BASF für vollentsalztes Kesselspeisewasser (Tab. 28):

ANFORDERUNGEN AN VOLLENTSALZTES WASSER (BASF)	
Na^+	0,005 mg/l
Kieselsäure	0,02 mg SiO_2/l
Gesamthärte	0,005 ^odH
Leitfähigkeit	0,1 $\mu S\ cm^{-1}$
pH	9

Tab. 28

44) Vgl. Henglein, F.A.: Grundriß der Chemischen Technik, a.a.O., S. 275

2.232 Rohwasseranalyse des Grundwassers

Der mit höchstem Reinheitsgrad gepaarte verminderte Mengenanspruch hat das örtliche Flußwasservorkommen als Rohwasserquelle für die Dampferzeugung lange Zeit hindurch grundsätzlich ungeeignet erscheinen lassen. Als Quelle bot sich daher zunächst das Grundwasser an, das am Standort der BASF die sandigen Kiese des Oberrheingrabens in zwei - durch Tonlagen voneinander getrennten - Stockwerken durchfließt bzw. ausfüllt.

Die mengenmäßige Ergiebigkeit wird hier mit einer Kleinstabflußmenge von 4 - 5 $l/s \cdot km^2$ angegeben[45]. Diese an sich bereits günstig zu beurteilenden Grundwasserspenden können sich durch die mehr oder weniger starke Anreicherung mit Rheinuferfiltrat noch wesentlich erhöhen.

Um sich eine Vorstellung über den Anteil der BASF am örtlichen Grundwasseraufkommen zu verschaffen, muß über die Fläche des Werkes (1969: rd. 5,6 km^2) hinaus ein größeres Einzugsgebiet berücksichtigt werden. Trotz aller Unsicherheit, die bei den Wasserwirtschaftlern hinsichtlich der Ausdehnung von Grundwassereinzugsgebieten bzw. der Fließgeschwindigkeiten in den tieferen Stockwerken besteht, sei für die BASF einmal das unmittelbare Hinterland, mithin das Gebiet der "Grauen Serie" und der "Niederterrasse" als Grundwasserspeicher angenommen (= rd. 120 km^2)[2,46]. Bei einer mittleren spezifischen Ergiebigkeit von 4,5 $l/s \cdot km^2$ entspricht das einem unterirdischen Abfluß von rd. 17 Mio. m^3. Dem steht die Entnahme der BASF von jährlich rd. 22 Mio. m^3 gegenüber (Abb. 32), wodurch sich ein rechnerisches Defizit von rd. 5 Mio. m^3

---

45) Vgl. Keller, R.; Grahmann, R.; Wundt, W.: Das Wasserdargebot in der Bundesrepublik Deutschland. Teil II: Die Grundwasser in der Bundesrepublik Deutschland und ihre Nutzung (R. Grahmann). Remagen/Rhein 1958, S. 148 und beigefügte "Grundwasserkarte der Bundesrepublik Deutschland 1 : 1 000 000" (mit Darstellung des Durchschnittswertes der monatlichen Kleinstabflußspenden von W. Wundt)

46) Vgl. Matthes, Georg: Das Grundwasser in der östlichen Vorderpfalz zwischen Worms und Speyer. In: Mitteilungen der Pollichia des Pfälzischen Vereins für Naturkunde und Naturschutz. III. Reihe. 5. Band. 119. Vereinsjahr 1958, S. 20

ergibt. Die Ausdehnung des möglichen Einzugsgebietes bis zur Haardt (= rd. 225 km^2 bei durchschnittlich 3 $l/s \cdot km^2$) gleicht das Defizit zwar fast völlig aus (< 1 Mio. m^3), unterstreicht aber nicht weniger die offensichtlich große Bedeutung der zusätzlichen Rheinuferfiltration.

Wenn nun die BASF angibt, ihren Grundwasserbedarf gegenwärtig fast ausschließlich aus Tiefbrunnen zu decken (Abb. 32), und das noch in Gemeinschaft mit anderen industriellen und kommunalen Grundwassernutzern jener Region[47], so wird damit die ganze Fragwürdigkeit der herkömmlichen, nur die oberen Horizonte betreffenden Einzugsgebiets- und Abflußberechnungen[48] deutlich. Als noch weitgehend ungeklärt gelten:

1. die Anzahl der Grundwasserhorizonte einschließlich möglicher "Fenster"-Verbindungen zwischen den Grundwasserleitern,
2. die Größe und Richtung der jeweiligen Grundwassereinzugsgebiete sowie
3. der Anteil der Uferfiltration bei Mischgrundwasser[49].

Wenn auch die künstliche Anreicherung des Grundwassers mit Uferfiltrat zumindest zeitweise maßgeblich zur Grundwasserbedarfsdeckung der BASF beitragen konnte, so mußten doch gleichzeitig mit der Rheinufernähe auch starke Qualitätsminderungen des geförderten Rohwassers hingenommen werden[50]. Hydrologischen Untersuchungen im Oberrheintal zufolge

---

47) Der Anteil der BASF am gesamtindustriellen bzw. chemieindustriellen Grundwasseraufkommen von Rheinland-Pfalz beträgt "nur" 17 bzw. 53 %. Gesamtindustrielles Grundwasseraufkommen in Rheinland-Pfalz 1965: 38,7 Mio. m^3 (Vgl. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden (Hrsg.): Wasserversorgung der Industrie 1965, a.a.O., S. 26); Grundwasserförderung der BASF 1965: 20,6 Mio. m^3 (Vgl. Abb. 32)

48) Vgl. Keller, R.; Grahmann, R.; Wundt, W., a.a.O.; Matthes, Georg, a.a.O.

49) Vgl. Kludig, Karl Heinz: Ermittlung des Anteils von Uferfiltrat bei Mischgrundwasser. In: gwf (Wasser-Abwasser). 111. Jg., Nr. 2/1970, S. 77 ff.

50) Vgl. Holluta, J.; Bauer, L. und Kölle, W.: Über die Einwirkung steigender Flußwasserverschmutzung auf die Wasserqualität und die Kapazität der Uferfiltrate. In: gwf (Wasser-Abwasser). 109. Jg., Nr. 50/1968, S. 1406 ff.

ANALYTISCHE GEGENÜBERSTELLUNG VON RHEIN- UND GRUNDWASSER [51]
(Analysen vom 13.12.1967)

		Rheinwasser	Brunnenwasser		
		Pegelstand Mannheim 2,0 m	K 5 50 m tief Entfernung vom Rhein 160 m	PK 5 III oben 11,5 m tief Entfernung vom Rhein rd. 60 m	PK 5 III unten 25 m tief Entfernung vom Rhein rd. 60 m
Gesamthärte	°dH	10,1	20,4	20,5	16,2
Karbonathärte	°dH	7,7	13,9	11,3	14,6
Nichtkarbonathärte	°dH	2,4	6,5	9,1	1,6
Natrium	mg/l	144,0	9,8	32,4	6,4
Kalium	mg/l	7,8	1,0	1,2	1,2
Kalzium	mg/l	63,0	108,0	115,0	77,0
Magnesium	mg/l	5,5	23,2	18,9	23,8
Hydrogenkarbonat	mg/l	167,0	303,0	248,0	318,0
Sulfat	mg/l	37,0	97,0	68,2	35,1
Chlorid	mg/l	231,0	26,6	120,0	5,7
Nitrat	mg/l	3,9	0,8	0,6	nn
Nitrit	mg/l	0,5	0,1	--	--
Kieselsäure	mg/l	5,4	15,1	10,8	15,7
Eisen	mg/l	0,01	0,5	--	--
Mangan	mg/l	0,11	0,25	--	--
Summe der Ionen gleicher Ladung	mval/l	10,1	7,7	8,8	6,1

Tab. 29

lassen sich z. B. die bereits geschilderten Verunreinigungen des Rheinwassers sowohl im chemischen Vertikalprofil als auch bei alternativer Ufernähe in entsprechender Höhe nachweisen (Tab. 29). Insbesondere die für Grundwasser atypischen hohen Alkaliwerte deuten auf ausgedehnte Ionenaustausch- und Absorptionsvorgänge hin, die nur bei tieferen Horizonten ausgeschlossen werden können[52]. Gleichzeitig erklärt sich damit das Bestreben, die chemiebetriebliche Grundwasserversorgung möglichst auf Tiefbrunnen abzustellen. Ohne schwerwiegende Eingriffe in den Wasserhaushalt findet das allerdings in den örtlichen Grundwasserspenden der tieferen Stockwerke seine natürliche Begrenzung. Eine weitere Erhöhung der Grundwasserförderung ist von der BASF z. Zt. auch nicht geplant.

Aus diesem Grunde und wegen der ohnehin starken Verunreinigungen des aus Flachbrunnen gewonnenen Grundwassers hat die BASF in den letzten Jahren durch Verbesserungen der Vollentsalzungstechnik den Anteil des Flußwassers am Rohwassereingang für die Kesselspeisewasserversorgung laufend erhöht; er lag 1968 bei rd. 20 %[53]. Eine besondere Problematik ergibt sich dabei aus den stark schwankenden Natriumchlorid-Werten (1 : 2,5), die auf die elsässischen Kaligruben zurückzuführen sind und entsprechend der 5-Tagearbeitswoche nach BASF-Beobachtungen zu charakteristischen "Kochsalzstößen" im Rhein führen (Tab. 30):

Na^+ Cl^- - GEHALT DES RHEINWASSERS (mg/l)

Wochentage	Na^+	Cl^-	NaCl
Dienstag-Mittwoch	35	55	90
Donnerstag-Montag	90	140	230

Tab. 30

51) Entnommen aus: Moser, H.: Hydrologische Untersuchungen im Oberrheintal (Ballungsraum Rhein-Neckar). In: Verein Kongreß und Ausstellung Wasser Berlin e.V. (Hrsg.): Festschrift zu Kongreß und Ausstellung Wasser Berlin 1968, München o.J. (1968), S. 65

52) Vgl. hierzu die Analysenwerte des Pegelbrunnens PK 5 III oben und unten mit den entsprechenden Werten für K 5 (Tab. 29) sowie für die BASF-Tiefbrunnen der "Edigheimer Galerie" (Tab. 31).

CHEMISCH - PHYSIKALISCHE WASSERUNTERSUCHUNG

(Durchschnitt Brunnenwasser Rheinvorland/Edigheimer Galerie (1:1))

Entnahmetag: 20.6.1966 Beschaffenheit bei der Entnahme: klar, leicht gelblich, schwacher H_2S-Geruch

Feststoffe (105°C)	mg/l	1,5
Temperatur des Wassers	°C	25
pH-Wert		7,1
Abdampfrückstand (105°C)	mg/l	339
dessen Glührückstand (685°C)	mg/l	211
Oxidierbarkeit, $KMnO_4$	mg/l	12,0
p-Acidität	mval/l	1,44
m-Alkalität	mval/l	6,76
Gesamthärte	°d	17,53
Karbonathärte	°d	17,53
Nichtkarbonathärte	°d	0
Gebundene Kohlensäure, CO_2	mg/l	148,5
Freie Kohlensäure, CO_2	mg/l	63,35
Sauerstoff, O_2	mg/l	0

Kationen:		
Calcium, Ca^{2+}	mg/l	99,8
Magnesium, Mg^{2+}	mg/l	15,45
Gesamteisen, Fe^{3+}	mg/l	1,85
Mangan, Mn^{2+}	mg/l	0,14
Natrium, Na^{+}	mg/l	12,7
Kalium, K^{+}	mg/l	1,3
Ammonium, NH_4^{+}	mg/l	1,5
Anionen:		
Hydrogenkarbonat, HCO_3^{-}	mg/l	412,5
Sulfat, SO_4^{2-}	mg/l	4,7
Chlorid, Cl^{-}	mg/l	3,3
Nitrat, NO_3^{-}	mg/l	0
Nitrit, NO_2^{-}	mg/l	0
Phosphat, PO_4^{3-}	mg/l	1,45
Schwefelwasserstoff, Sulfid, S^{2-}	mg/l	0,033
Silikat, SiO_2	mg/l	19,6

Tab. 31

Mio.m³
Grundwasserförderung
der BASF
20
15
10
5
Förderung aus
Tiefbrunnen und
Flachbrunnen
Förderung aus Flachbrunnen
1950
1955
1960
1965
1970

Abb. 32

2.233 Gewinnung und Aufbereitung des Grundwassers (Kesselspeisewasseraufbereitung)

Zur Grundwasserförderung werden Tief- und Flachbrunnen eingesetzt. Ihre Beteiligung am jeweiligen betriebsindividuellen Grundwasseraufkommen bestimmt sich weitgehend nach dem Grad der Verunreinigungen im örtlichen Uferfiltrat.

Von den früher sehr zahlreichen Flachbrunnen hatte die BASF 1969 rückläufig 3 bzw. 1 Anlage in Betrieb. Am Grundwasseraufkommen waren sie mit rd. 5 % beteiligt (Abb. 32). Die geförderten Mengen wurden hauptsächlich zu Kühlzwecken an das werkseigene Flußwassernetz abgegeben.

Die 37 Tiefbrunnen fördern das Grundwasser aus 100 - 200 m tiefen Horizonten; es hat im Bereich der BASF ein Gefälle von 0,0013 ‰ und eine Strömungsrichtung von SW nach NW. Der überwiegende Teil dient als Rohwasser der Kesselspeisewasseraufbereitung, deren hoher chemischer und apparativer Aufwand im folgenden kurz erläutert werden soll (Abb. 33):

Die wichtigsten Stationen lassen sich mit

Entkarbonisierung,
Entkieselung,
Vollentsalzung und
Entgasung

umschreiben.

Bei der Entkarbonisierung wird das mit Kalkmilch versetzte und durch Einsatz als Kühlmittel auf 30 °C vorgewärmte Rohwasser tangential den konischen Schnellreaktoren mit großer Geschwindigkeit zugeführt. Die Reaktoren enthalten meist Sand bzw. körniges Kalziumkarbonat, welches dem gemäß

$$Ca(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 \rightleftharpoons 2\ CaCO_3 + 2\ H_2O$$

53) Brunnenwasser-Eingang: 19 014 540 m^3; Flußwasser-Eingang: 4 585 940 m^3; Deionat-Ausgang: 19 623 940 m^3 (jeweils 1968).

KESSELSPEISEWASSERREINIGUNG

(BASF)

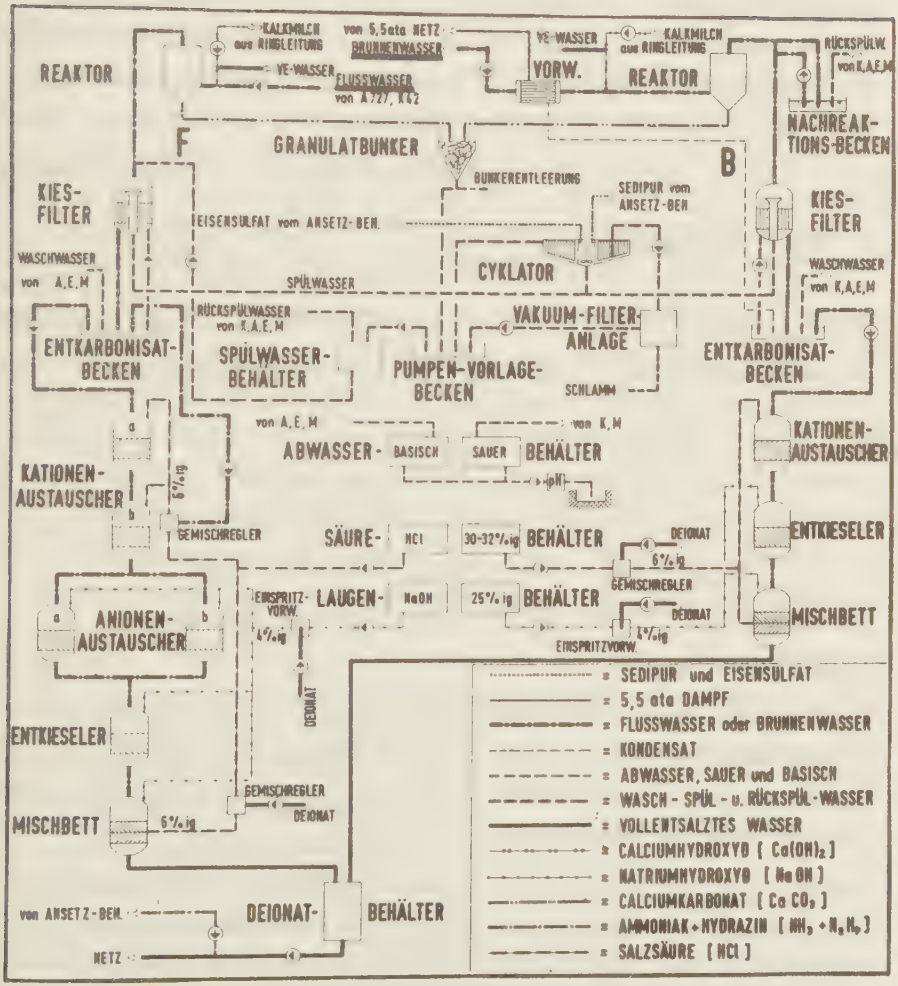


Abb. 33

ausfallenden $CaCO_3$ als Kontaktmasse zur Anlagerung der Kristallisationskeime dient. Wegen des dadurch wachsenden Volumens an Reaktormasse muß von Zeit zu Zeit abgeschlämmt werden.

Nach einer Verweilzeit von wenigen Minuten verläßt das entkarbonisierte Wasser den Reaktor, durchfließt einen nachgeschalteten Kiesfilter, um schließlich den Ionenaustauschern zugeführt zu werden. Dabei tauscht der Kationenaustauscher die im Rohwasser enthaltenen Kationen (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+ usw.) gegen Wasserstoff (H^+)-Ionen aus, wie z. B.

$$2\ Na^+ + H_2X \longrightarrow Na_2X + 2\ H^+ \quad (H_2X = \text{Kationenaustauscher})$$

und der Anionenaustauscher die im Wasser enthaltenen Anionen (CO_3^{2-}, SO_4^{2-}, Cl^- usw.) gegen Hydroxyl (OH^-) - Ionen, wie z. B.

$$2\ Cl^- + (OH)_2Y \longrightarrow Cl_2Y + 2\ OH^- \quad ((OH)_2Y = \text{Anionenaustausche}$$

so daß nach erfolgtem Ionenaustausch als Endprodukt Wasser gemäß

$$2\ H^+ + 2\ OH^- \longrightarrow 2\ H_2O$$

entsteht. Die Kationenaustauscher werden mit verdünnter Salzsäure (HCl), die Anionenaustauscher mit verdünnter Natronlauge (NaOH) gemäß

$$Na_2X + 2\ H^+ \longrightarrow 2\ Na^+ + H_2X \qquad \text{und}$$
$$Cl_2Y + 2\ OH^- \longrightarrow 2\ Cl^- + (OH)_2Y$$

regeneriert.

In der anschließenden Entkieselung wird der kolloidal oder ionogen gelöste Kieselsäureanteil durch alkalische Aufbereitung entfernt, während das Mischbett einen etwaigen Durchbruch von Salzen in das Reinwasser bei erschöpften Ionenaustauschern verhindern soll.

Nach der Entgasung, bei der Hydrazin (N_2H_4) bzw. Ammoniak (NH_3) zur Bindung des freien Sauerstoffs (O_2) bzw. der freien Kohlensäure (CO_2) verwendet werden, steht dem Dampfkesselbetrieb ein vollständig salzfreies und restlos entgastes Speisewasser mit den bereits in Tab. 28 angegebenen Analysenwerten zur Verfügung.

An der Kesselspeisewasserversorgung der BASF sind insgesamt 3 Betriebe beteiligt. Hiervon arbeitet bereits eine Anlage mit Flußwasser als Rohwasserquelle.

2.24 Versorgung mit sonstigem Fabrikationswasser

Die bisherigen Kategorien des chemiebetrieblichen Wasserbedarfs sind mit ihren Funktionen grundsätzlich auch in anderen Industriezweigen denkbar. Lediglich die genannten Größenordnungen und Relationen im Verbrauch haben eindeutigen Branchenbezug.

Dagegen knüpft die Gruppe "Sonstiges Fabrikationswasser" an die spezifische Eigenart der auf Stoffumwandlung gerichteten chemisch-technologischen Verfahrensweise an. Hier kommt dem Wasser nicht mehr allein die Bedeutung eines Betriebsstoffes zu, vielmehr beteiligt es sich auch als Roh- bzw. Hilfsstoff an den chemischen Umsetzungen und kann daher in das jeweilige Fertigprodukt mit eingehen. Bei der typischen Heterogenität des chemieindustriellen Leistungsprogramms ist das in recht unterschiedlicher Weise denkbar. So umfaßt das Verkaufsprogramm der BASF allein über 5 000 Produkte. Zu Produktgruppen zusammengefaßt werden in der Reihenfolge ihrer umsatzmäßigen Beteiligung genannt[54)55)]:

1. Kunststoffe,
2. Produkte für die Landwirtschaft (Düngemittel, Herbizide, Insektizide, Nematodenmittel, Fungizide),
3. Chemikalien (organische Vor- und Zwischenprodukte, anorganische Grundchemikalien),
4. Öl und Gas,
5. Farbstoffe, Hilfs- und Veredlungsmittel (für Lacke, Textilien, Leder, Papier und Kunststoffe),
6. Lacke und Lackrohstoffe,
7. Fasern und Faservorprodukte,
8. Dispersionen und Leimharze,
9. Magnetbänder und Nyloprint,
10. Pharmazeutika und sonstiges.

---

54) Vgl. Geschäftsbericht der BASF 1969, S. 21 in Verbindung mit BASF (Hrsg.): BASF - Erzeugnisse. Ausgabe Dezember 1967 und BASF (Hrsg.): Daten und Fakten. Ausgabe 1970

55) Für das genannte Verkaufsprogramm gilt - mit Ausnahme von Öl, Gas, Fasern, Lacke, Magnetbänder, Nyloprint und Pharmazeutika - das Werk Ludwigshafen als hauptbeteiligte Produktionsstätte.

Es sollen hier nicht alle nur denkbaren Formen der roh-, hilfs- und betriebsstoffmäßigen Beteiligung des Wassers an diesen Fertigprodukten diskutiert werden. Vielmehr genügt allein der folgende grobe Überblick, um sich eine Vorstellung von den vielfältigen Einsatzmöglichkeiten zu machen.

Da sind zunächst die reinen Waschvorgänge zu nennen. Sie beruhen auf der absorbierenden Wirkung des Wassers und dienen insbesondere der Reinigung von Gasen (z.B. von Staub) sowie der Absorption von Gasen aus Gasgemischen (z.B. Auswaschen von Kohlendioxid aus dem durch Konvertierung des Kohlenmonoxids mit Wasser gewonnenen Kohlendioxid/Wasserstoff-Gemisches bei der Ammoniaksynthese).

Weiterhin wird das Wasser im dampfförmigen Aggregatzustand zur Erzeugung von Synthesegas eingesetzt, einem Gemisch von Kohlenmonoxid und Wasserstoff, von dem so wichtige organische Synthesen, wie die Methanol- und Oxosynthese ausgehen. Auch bei der Synthesegaserzeugung ist übrigens die Kohle weitgehend durch petrochemische Rohstoffe verdrängt worden, so daß an Stelle der historischen Wassergasreaktion

$$C + H_2O + 31{,}4\ \text{kcal} \rightleftharpoons \boxed{CO + H_2}$$

nunmehr die Vergasung von Methan getreten ist, deren endothermes Verfahren ebenfalls mit Wasser als Reaktionskomponente arbeitet:

$$CH_4 + H_2O + 54{,}0\ \text{kcal} \longrightarrow \boxed{CO + 3\,H_2}$$

Synthesegas ist gleichzeitig der Wasserstofflieferant für zahlreiche technische Hydrierungen, wie insbesondere die Ammoniaksynthese. Dabei machen sowohl die Konvertierung

$$CO + H_2O - 10\ \text{kcal} \longrightarrow CO_2 + H_2$$

als auch die bereits erwähnte Kohlendioxidwäsche den Einsatz von Wasser erforderlich:

$$CO_2 + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3$$

Roh-, hilfs- und betriebsstoffmäßige Bedeutung erlangt das Wasser auch bei der Herstellung chemischer Schlüsselprodukte, wie z.B. bei Schwefelsäure, gemäß

$$2\,SO_2 + O_2 \rightleftharpoons 2\,SO_3$$
$$SO_3 + H_2SO_4 \longrightarrow H_2S_2O_7$$
$$H_2S_2O_7 + H_2O \longrightarrow 2\,H_2SO_4$$

und Chlor bzw. Natronlauge, gemäß

$$\text{Energie} + 2\,NaCl + 2\,H_2O \longrightarrow H_2 + 2\,NaOH + Cl_2$$

sowie bei Polyäthylen und im Farben- und Pharmasektor.

Schließlich sei noch auf die Verwendung des Wassers als Lösungsmittel in den verschiedenen Fabrikationen hingewiesen.

Es versteht sich von selbst, daß bei der Vielfalt der genannten Einsatzmöglichkeiten die Reinwasseranforderungen recht unterschiedlich sein können. Als Kategorie mit den geringsten Anforderungen gelten die reinen Waschprozesse, durch die ein Gas nur vorübergehend gebunden und durch Belüftung anschließend wieder ausgetrieben werden soll. Hier sind gefilterte Flußwasserqualitäten völlig ausreichend. Dagegen ist für die Bindung des Anhydrits im Oleum bzw. Verdünnung der Dischwefelsäure bei der Schwefelsäurefabrikation ein Betriebswasser mit Trinkwasserqualität erforderlich, die Chloralkalielektrolyse sowie die Herstellung von Pharmazeutika verlangen sogar höchste Reinheitsgrade, mithin vollentsalztes Wasser.

Somit umfaßt das Spektrum der betrieblichen Rohwasserquellen sowohl das örtliche Fluß- und Grundwasservorkommen, als auch die - im nächsten Abschnitt noch näher zu erläuternden - kommunalen Wasserversorgungsmöglichkeiten. Eine mehr oder weniger eindeutige Zuordnung der Kategorie "Sonstiges Fabrikationswasser" mit einer spezifischen Rohwasserquelle ist, wie etwa im Falle der Kühl- und Kesselspeisewasserversorgung, nicht möglich. Damit erklären sich gleichzeitig die einander nicht korrespondierenden Werte aus Tab. 11 und 12.

2.25 Versorgung mit Belegschaftswasser

Die noch verbleibende Kategorie des chemiebetrieblichen Wasserbedarfs - das Belegschaftswasser - ist zugleich die unproblematischste ihrer Art.

Ein Wasserbedarf, dessen Güteanforderungen sich weitgehend durch die persönlichen Bedürfnisse des tätigen Menschen im Betrieb bestimmen lassen, muß notwendigerweise branchengenerelle Bedeutung haben. Darüber hinaus kommt als Bezugsquelle erstmalig keine natürliche Standortressource in Frage, sondern ausschließlich Versorgungseinrichtungen der jeweiligen Gebietskörperschaft; mit anderen Worten: die gesamte Aufbereitungsproblematik liegt außerhalb der betrieblichen Sphäre, sie hat im Beschaffungskalkül des Betriebes bei definierter Trinkwasserqualität lediglich den Stellenwert eines Datums.

Gleichzeitig reduzieren sich damit die Beschaffungsüberlegungen zu einem Mengenproblem. Gemessen an den bereits geschilderten Größenordnungen in der Kühlwasserversorgung sind die entsprechenden Anteile des Belegschaftswassers verschwindend gering: Für die gesamte Chemische Industrie werden 1965 1,2 %, für die BASF 0,5 % genannt (Tab. 11). Indes kann die ausschließlich betriebsbezogene und relative Betrachtungsweise leicht zu Fehlinterpretationen führen. So entspricht diesen 0,5 % ein BASF-Fremdbezug von 3,82 Mio. m^3. Aus der Sicht der für die kommunale Wasserversorgung zuständigen Stadtwerke Ludwigshafen sind das allein rd. 26 % der gesamten bzw. rd. 48 % der gewerblich und industriell genutzten Wasserabgabe. Die Anteile können sich insofern noch auf 37 % (1969: 35 %) bzw. 69 % (1969: 68 %) erhöhen, wenn zusätzlich der produktionsbedingte Trinkwasserverbrauch und damit der gesamte Fremdbezug berücksichtigt wird (Abb. 34).

Wie aus der Bezeichnung bereits hervorgeht, dient das Belegschaftswasser vornehmlich personalbezogenen Zwecken, wie Werksküchen, Betriebsbädern[56] und allen übrigen sanitärhygienischen Einrichtungen in den Gebäuden

56) Die Betriebsbäder der BASF wurden erst 1959/60 aufgrund einer Auflage des dortigen Gesundheitsamtes von Fluß- auf Trinkwasserqualität umgestellt.

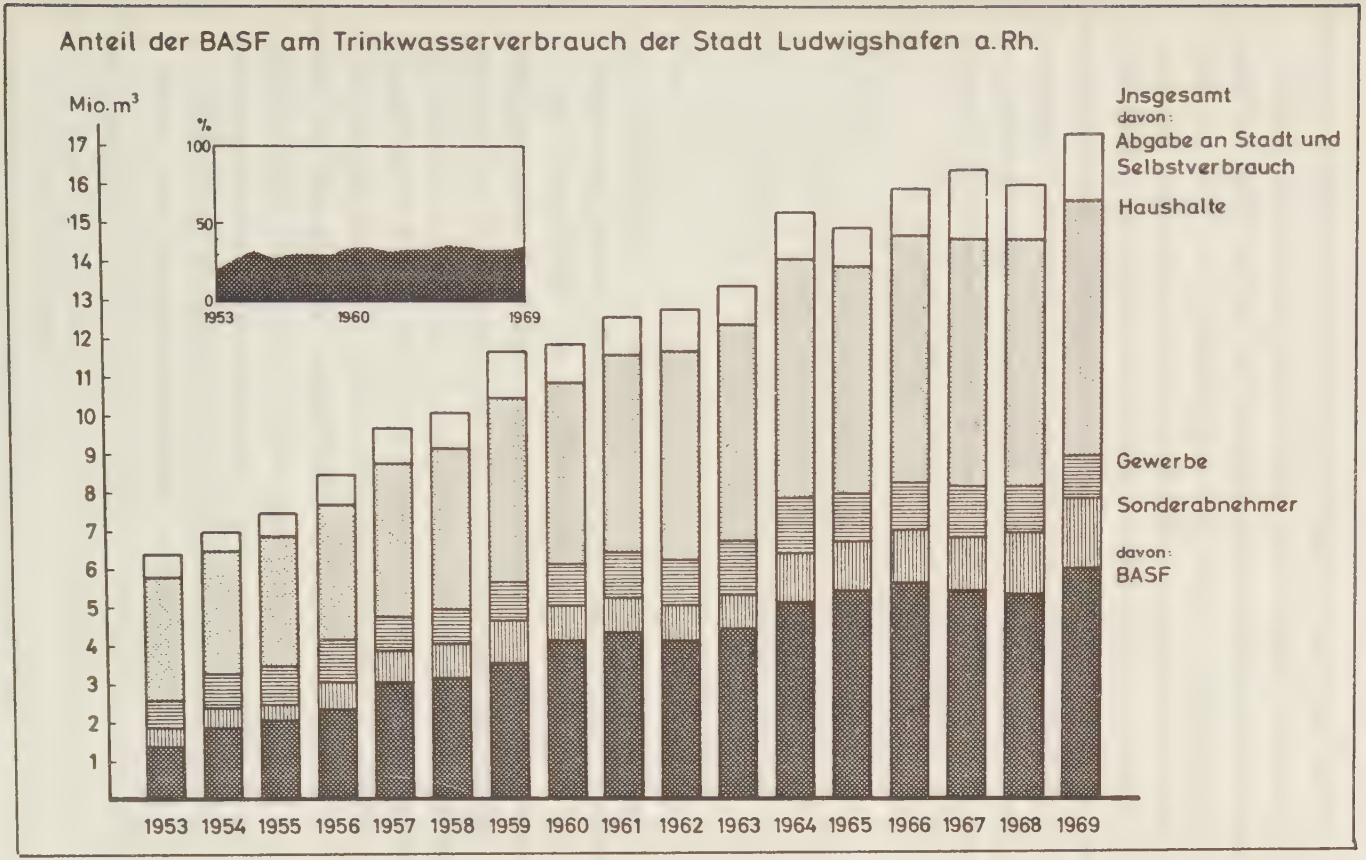

Anteil der BASF am Trinkwasserverbrauch der Stadt Ludwigshafen a.Rh.
Mio. m³
17
16
15
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
%
100
50
0
1953
1960
1969
Insgesamt
davon:
Abgabe an Stadt und Selbstverbrauch
Haushalte
Gewerbe
Sonderabnehmer
davon:
BASF
1953 1954 1955 1956 1957 1958 1959 1960 1961 1962 1963 1964 1965 1966 1967 1968 1969

Abb. 34

Die heißen Tage im Sommer sowie die allgemeinen Stoßzeiten (16 - 18 Uhr) gelten wegen ihrer Spitzenbelastungen als besonders kritisch. Sie bedingen mitunter eine Verdopplung des für 1969 mit rd. 695 m^3/h anzugebenden durchschnittlichen Trinkwasserverbrauch. Die BASF hat daher in Verhandlungen mit den dortigen Stadtwerken in den letzten Jahren die Verstärkung von Einführungsleitungen, die Installation von Druckerhöhungspumpen sowie die Vermehrung der Trinkwasserübernahmestellen auf inzwischen 12 (1969) bewirken können. Damit sind in der Vergangenheit die Grundlagen für den zügigen Ausbau des werkseigenen Trinkwassernetzes geschaffen worden, was wiederum zu einer weitgehenden Normalisierung der Versorgungssituation geführt hat.

2.3 Rationalisierung der chemiebetrieblichen Wassernutzung

2.31 Zur Rationalisierbarkeit der chemiebetrieblichen Wasserkategorien

Die Knappheit des örtlichen Wasserdargebots bzw. die hohen Aufbereitungskosten üben auf den Chemiebetrieb einen Rationalisierungszwang aus. Im weitesten Sinne soll darunter das Streben nach erhöhter Effizienz der betrieblichen Wasserwirtschaft verstanden werden. Dazu zählt insbesondere die Nutzbarmachung des technischen Fortschritts, dessen ambivalente Wirkung hinsichtlich des spezifischen Wasserbedarfs (pro Produkt) allerdings eine Korrelation zwischen Produktivität und chemiebetrieblichen Wasserbedarf erschwert, wenn nicht sogar unmöglich macht. So ist z.B. der vermehrte Einsatz des Wassers als hydraulisches Fördermittel zwangsläufig mit einer Erhöhung des spezifischen Wasserbedarfs verbunden, während andererseits wassereinsparende physiko-chemische Verarbeitungsverfahren, wie z.B. das Ausweichen auf Luft als Kühlmedium, zu einer Senkung des spezifischen Wasserbedarfs führt. Die einschlägige Literatur bezieht wasserwirtschaftliche Rationalisierung zumeist nur auf die letztere Möglichkeit[57].

---

57) Vgl. z.B. Schrewe, Heinrich: Entwicklungstendenzen in der Wasser-

Es sind grundsätzlich zwei Arten der spezifischen Wasserverbrauchssenkung zu unterscheiden. Einmal sind damit absolute Verbrauchssenkungen aufgrund der bereits erwähnten wassersparenden Verfahrenstechniken gemeint. Zum anderen können die Einschränkungen des Verbrauchs nur relativer Natur sein, wenn als Bezugsgröße über die am Prozeßgeschehen insgesamt beteiligte Wassermenge hinaus auch die Inanspruchnahme der Gebietsressource berücksichtigt wird. Danach liegt Rationalisierung auch dann vor, wenn trotz eines verminderten Rückgriffs auf die örtlichen Wasservorkommen ein gleichbleibender oder sogar steigender betrieblicher Wasserbedarf gedeckt werden kann. Verfahrenstechnisch läßt sich das ceteris paribus nur durch eine Mehrfachnutzung des Wassers im Betrieb erreichen, so daß hier eigentlich weniger von spezifischer Verbrauchssenkung, als vielmehr von einer Verminderung der spezifischen Aufbereitungskosten gesprochen werden sollte. In der chemiebetrieblichen Praxis treten die genannten Rationalisierungseffekte zumeist kombiniert auf.

Vor der Analyse der eigentlichen wassersparenden Verfahrenstechniken sollen zunächst die verschiedenen Kategorien des betrieblichen Wasserbedarfs auf ihre Rationalisierbarkeit hin untersucht werden. Das mengenmäßig am wenigsten ins Gewicht fallende Belegschaftswasser verschließt sich weitgehend so verstandenen Rationalisierungsbestrebungen. Im Gegenteil: Verbesserungen der sozialen, insbesondere sanitärhygienischen Einrichtungen führen notwendigerweise zu Erhöhungen des Wasserverbrauchs mit Trinkwasserqualität. Für den Industriedurchschnitt werden etwa 100 - 300 l je Belegschaftsmitglied und Tag angegeben[58], die Verhältnisse in der BASF bestätigen diese Angabe zumindest für 1965 (= 219 l) und 1967 (= 223 l)[59].

---

versorgung gewerblicher Betriebe. In: Kongreß und Ausstellung Berlin e.V. (Hrsg.): Kongreß und Ausstellung Wasser Berlin 1968. Vorträge, a.a.O., S. 56. Im Gegensatz hierzu vgl. z.B. Streibel, Günter: Die Bedeutung der Gebietsressource Wasser für die perspektivische Standortverteilung der Produktivkräfte in der DDR, a.a.O., S. 193

58) Vgl. Schrewe, Heinrich: Entwicklungstendenzen in der Wasserversorgung gewerblicher Betriebe, a.a.O., S. 61

59) Vgl. die Angaben zum Belegschaftswasserverbrauch der BASF lt.

Wenn hierzu in Abb. 35 über diese beiden Jahre hinaus für einen längeren Zeitraum der spezifische Belegschaftswasserbedarf durch Gegenüberstellung von Trinkwasserverbrauch und Belegschaftsentwicklung ermittelt wurde, so sind die entsprechenden Werte weniger mit ihrem (deutlich überhöhten) absoluten Gehalt, als vielmehr trendmäßigen Verlauf zu würdigen. Die vielfach gemischten Nutzungsmöglichkeiten in den einzelnen Betriebsteilen, wie allein in Laboratorien, anwendungstechnischen Abteilungen und sonstigen Forschungseinrichtungen gestatten ohnehin keine getrennte Erfassung des ausschließlich p e r s o n a l b e z o g e n e n Trink-

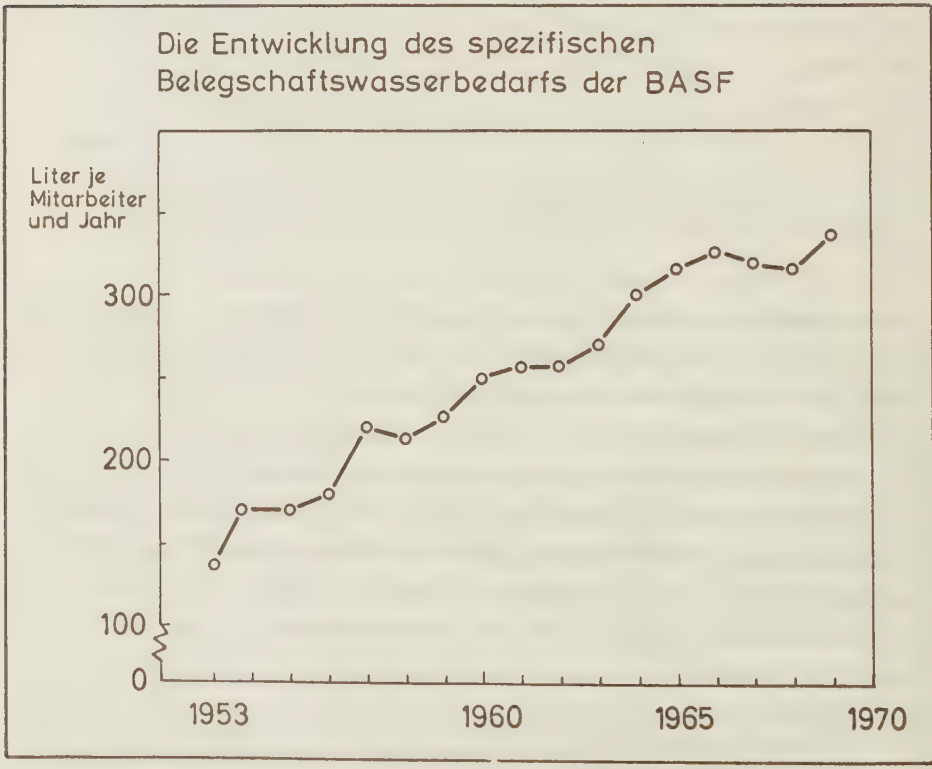


Abb. 35

Tab. 11 (1965: 3,82 Mio. m^3; 1967: 3,83 Mio. m^3) in Verbindung mit den Belegschaftsstärken (1965: 47 840; 1967: 47 124).

wasserverbrauchs. Auch die Angaben der BASF aus der Industrieberichterstattung 1965 und 1967 (Tab. 11) dürften nur Schätzwerte sein. Dagegen bestimmt der Belegschaftswasserbedarf als Hauptnutzungskomponente des Trinkwasseraufkommens bei gleichzeitiger Berücksichtigung der o.g. sanitärhygienischen Indikationen sehr wohl den trendmäßigen, und nach Abb. 35 für die BASF insbesondere steigenden Verlauf der Prokopfverbräuche.

Mit dem Kesselspeisewasser wird wegen seiner hohen Aufbereitungskosten (Vollentsalzung!) schon seit langem sparsam und höchst rationell umgegangen. Sichtbarer Ausdruck hierfür ist der bereits traditionell gewordene Wasser-Dampf-Kreislauf in einem herkömmlichen Heizkraftwerk mit seinen wesentlichsten Stationen: Kessel - Gegendruckturbine - Überhitzer -Kondensatturbine - Wärmeaustauscher - Speisewasserbehälter - Speisewasserpumpe - Kessel (einschließlich Zusatzwasseraufbereitung für jeweilig abgegebenen Prozeßdampf).

Anders verhält es sich wiederum mit dem sonstigen Fabrikationswasser. Hier läßt der naturgesetzlich determinierte roh- bzw. hilfsstoffmäßige Einsatz des Wassers einen nur geringen Spielraum für Rationalisierungsmöglichkeiten zu. Allenfalls kann der Trend zu größeren Produktionskapazitäten die allgemeine Stöchiometrie der Reaktionskomponente Wasser verbessern und damit eine spezifische Verbrauchssenkung begünstigen. Als Ausnahme hiervon gelten jene Verfahrensänderungen, die den bisherigen Einsatz des Prozesswassers grundsätzlich verringern bzw. unnötig machen, wie etwa die (auch von der BASF bereits vorgenommene) Umstellung der Acetylenerzeugung von Carbid auf petrochemische Rohstoffe (Rohbenzin) oder Erdgas:

Bisher: $CaC_2 + 2\,H_2O - 25\ kcal \longrightarrow C_2H_2 + Ca(OH)_2$

Heute: $2\,CH_4 + 93{,}8\ kcal \longrightarrow C_2H_2 + 3\,H_2$

Somit verbleibt nur noch das Kühlwasser, das durch seine bereits erwähnten Aufbereitungs- und Verbrauchsgrößenordnungen zum bevorzugten Rationalisierungsobjekt geworden ist. Verbrauchssenkungen können und müssen sich hier unter betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten notwen-

digerweise stärker auswirken, als das bei den übrigen Kategorien der Fall ist. Daher soll auch auf die hier gegebenen Verbesserungsmöglichkeiten der innerbetrieblichen Wasserwirtschaft etwas näher eingegangen werden. Sie lassen sich mit den Stichworten "Wassereinsparung", "Wasserkreislauf" und "Luftkühlung" umschreiben.

2.32 Wassereinsparung, Wasserkreislauf, Luftkühlung

Der einfachste, aber zugleich nur temporäre Lösungsversuch für betriebliche Rationalisierungsbestrebungen ist die W a s s e r e i n s p a r u n g . Sie wird von der für die Wasserversorgung verantwortlichen Instanz des Betriebes initiiert und kann zunächst in einer - verfahrenstechnisch noch vertretbaren - Drosselung des Verbrauchs bestehen, bis - wie es in der BASF dazu heißt - "die ersten Reklamationen aus den Betrieben über mangelnden Wasserdruck usw." kommen. Viel effizienter scheint indes die Beeinflussung der psychologischen Einstellung der Belegschaft zum Wasserverbrauch überhaupt zu sein. Das Spektrum der hier gegebenen Möglichkeiten reicht von der einfachen Belehrung des Personals bis hin zur Betonung a u c h der wasserwirtschaftlichen Eigenverantwortlichkeit und Rechenschaftspflicht der Kostenstellenleiter.

Bei der Rationalisierung des betrieblichen Kühlwasserbedarfs kommt der K r e i s l a u f w i r t s c h a f t zweifellos die größte Bedeutung zu. Sie empfiehlt sich insbesondere beim Vorliegen der folgenden standortlichen Gegebenheiten:

1. Der chemiebetriebliche Kühlwasserbedarf steht einem mengenmäßig nicht ausreichenden bzw. stark schwankenden natürlichen Wasserdargebot gegenüber.
2. Der Fremdwasserbezug erreicht eine Größenordnung, die ihn für Kühlzwecke kostenmäßig ungeeignet macht.
3. Abwasserbezogene Auflagen an den Chemiebetrieb bzw. die kommunalen Kanalisations- und Klärkosten drängen auf eine Verminderung der Abwassermenge. Mitunter ist die Einleitung von Kühlwasser in das kommunale Kanalisationsnetz wegen der hohen Raumbela-

stung der Kläreinrichtungen nicht statthaft, zumal eine Klärnotwendigkeit bei ausschließlich wärmebelasteten Abwässern nicht besteht.

4. Die starke Verschmutzung des örtlichen Rohwassers läßt seine betriebliche Nutzung erst nach umfangreichen Aufbereitungsmaßnahmen zu.

Bei einem kühlwasserintensiven Betrieb, der - wie die BASF - seinen Standort an einem Fluß mit ausreichender Wasserführung hat, spricht insbesondere der letzte Gesichtspunkt für die verstärkte Nutzung der Kreislaufwirtschaft.

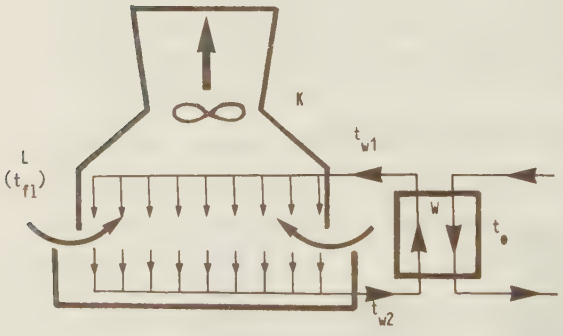
Dabei ist zwischen wärmebelasteten, schmutzbelasteten und kombiniert wärme- und schmutzbelasteten Kreisläufen zu unterscheiden. Im Kühlbetrieb sind die wärmebelasteten Kreislaufwasser zwangsläufig am stärksten vertreten. Ihre Rückkühlung erfolgt in selbstventilierenden Kaminkühlern oder in zwangsbelüfteten Ventilatorkühltürmen (Abb. 36). Im Unterschied zu der bereits an anderer Stelle beschriebenen Durchflußkühlung wird hier einer ständig in Umlauf gehalteten Wassermenge die in den Kondensatoren aufgenommene Wärme durch entgegenstreichende Luft wieder entzogen, was zu einer Senkung der Wassertemperatur um einen

VENTILATORKÜHLTURM

Abb. 36

bestimmten Betrag (Kühlzonenbreite) führt (Abb. 37). Die Grädigkeit des Wärmeaustauschers (t_o-t_w), das mittlere Temperaturgefälle zwischen Kühlwasser und Luft im Kühlturm (t_w-t_f), die Kühlzonenbreite (t_{w1}-t_{w2}) sowie der Kühlgrenzabstand (t_{w2}-t_{f1}) gelten dabei als die wesentlichsten Einflußfaktoren, deren wechselseitige Abhängigkeit für die optimale Gestaltung des Rückkühlbetriebes zu beachten ist[60]. Die unvermeidbaren Verdampfungs- und Sprühverluste führen zu einer Eindickung des Zirkulationswassers, die den laufenden Zusatz von Frischwasser notwendig macht. Der Gesamtverlust wird in den Absalzungsdiagrammen für den Rückkühlbetrieb mit rd. 2 - 3 % der Umlaufwassermenge angegeben[61]. Als Härtestabilisatoren (Karbonathärte!) dienen polymere Phosphate, während das organische Wachstum im Kühlwasserkreislauf mit Dosierchemikalien, wie Kupfersulfat, SEPACID® und NALCO® bekämpft wird.

KÜHLWASSERKREISLAUF BEI VERWENDUNG EINES KÜHLTURMS



K = Kühlturm
L = Luftzutritt
W = Wärmeaustauscher
t_{f1} = Lufttemperatur, gemessen mit dem feuchten Thermometer
t_f = t_{f1} bei geeigneter Mittelung
t_{w1} = Kühlwassertemperatur bei Eintritt in den Kühlturm
t_{w2} = Kühlwassertemperatur bei Austritt aus dem Kühlturm
t_w = Wassertemperatur bei geeigneter Mittelung
t_o = Mittlerer Temperaturwert des zu kühlenden Gutes

Abb. 37

60) Vgl. Odenthal, A. und Spangemacher, K.: Der Kühlturm im Dampfkraftprozeß. In: BWK (Brennstoff - Kraft - Wärme). 11. Jg., Nr. 12/1959, S. 556 ff.

61) Vgl. Vereinigung der Großkesselbesitzer e.V. (VGB) (Hrsg.): Richtlinien für die Aufbereitung von Kesselspeisewasser und Kühlwasser. 5., neubearbeitete Auflage. Essen 1958, S. 177 ff.

In der Chemischen Industrie hat die gemischte Kreislaufwirtschaft große Bedeutung erlangt. Bei ihr vollziehen sich die Kühlvorgänge nur in einigen Anlagen kreislaufmäßig, während der Großteil des Flußwassers die Kühlaggregate einmal durchströmt (Durchflußkühlung!) und leicht wärmebelastet dem örtlichen Vorfluter zugeleitet wird.

Im Unterschied zum ausschließlich wärmebelasteten Kreislauf muß das schmutzbelastete Umlaufwasser vor seiner Wiederverwendung gereinigt werden. Im Falle ungelöster, mineralischer Inhaltsstoffe dienen hierzu Absetzbecken, für den Fal' gelöster Verunreinigungen die chemische Fällung, bei Gasen u. U. die bereits geschilderte Belüftung. Letzteres wird in der BASF in größerem Umfange im sog."Belüftungswerk" durchgeführt, welches das in der Druckwasserreinigung (CO_2-Wäsche) anfallende Kohlensäurewasser mittels Belüftung vom Kohlendioxid befreit und anschließend erneut dem betrieblichen Flußwassernetz zuführt. 1968 konnten so allein rd. 16 % der gesamten Flußwasserförderung kreislaufmäßig geführt werden. Insgesamt gibt die BASF die jährlich genutzte Kreislaufwassermenge als Schätzgröße mit rd. 20 % des Flußwasseraufkommens an; das sind rd. 200 Mio. m^3 für das Jahr 1968 (Abb. 38). Damit bleibt die BASF weit hinter dem für die gesamte Chemische Industrie des Bundesgebiets mit rd. 50 % (= 1,5 Mrd. m^3) erfaßten Anteil zurück[62]. Das läßt sich für die BASF nur z. T. mit der noch unzureichenden Erfassung aller Wasserkreisläufe und einer damit zwangsläufig verbundenen vorsichtigen Schätzung erklären, vielmehr ist es die bereits erwähnte ausreichende Wasserführung des Rheins, die einen beschaffungspotentialinduzierten Rationalisierungszwang z. Zt. noch nicht aufkommen läßt.

Auf die dritte Möglichkeit, durch Luftkühlung zu einer Einschränkung des betrieblichen Kühlwasserverbrauchs zu gelangen, wurde bereits hingewiesen. Dabei kann die Luft direkt als Kühlmedium oder indirekt für den Wasserrückkühlbetrieb in geschlossenen Systemen eingesetzt werden. Eine Vorstellung von den hier mitunter bestehenden bzw. notwendigen

---

62) Vgl. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden (Hrsg.): Wasserversorgung der Industrie 1965, a.a.O., S. 8

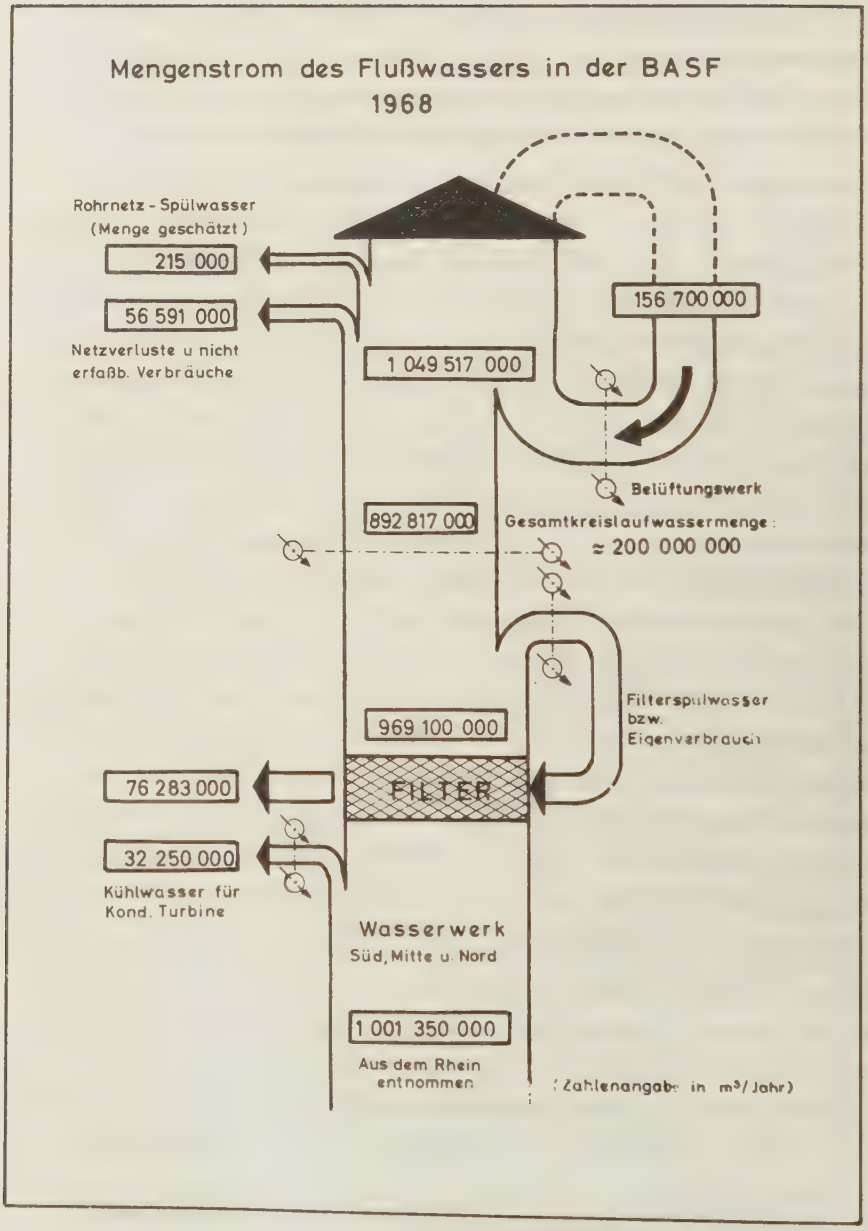

Mengenstrom des Flußwassers in der BASF
1968
Rohrnetz - Spülwasser
(Menge geschätzt)
215 000
56 591 000
Netzverluste u nicht
erfaßb. Verbräuche
1 049 517 000
156 700 000
Belüftungswerk
892 817 000
Gesamtkreislaufwassermenge:
≈ 200 000 000
969 100 000
Filterspülwasser
bzw.
Eigenverbrauch
FILTER
76 283 000
32 250 000
Kühlwasser für
Kond. Turbine
Wasserwerk
Süd, Mitte u. Nord
1 001 350 000
Aus dem Rhein
entnommen
(Zahlenangaben in m³/Jahr)

Abb. 38

Größenordnungen des Kühlluftbedarfs vermitteln die in Abb. 39 ausschnittweise wiedergegebenen Ventilatoren von 6,5 m Durchmesser, die zu einer Anlage der BASF für Kunststoff- und Synthesefaservorprodukte gehören und von denen 12 Stück stündlich 13 Mio. m^3 Luft durch Rippenrohrpakete saugen, um rd. 1 400 m^3 Wasser von 50 °C auf 30 °C rückzukühlen. Das entspricht einer jährlich rückgekühlten Wassermenge von rd. 12,3 Mio. m^3 [63].

KÜHLWASSER-RÜCKKÜHLUNG MIT VENTILATOREN

Abb. 39

63) Mit der dem Wasser entzogenen Wärmemenge von rd. 28 Mio. cal könnten stündlich fast 3 000 Einfamilienhäuser beheizt werden.

Sichtbarer Ausdruck für den Erfolg von wasserwirtschaftlichen Rationalisierungsbestrebungen im Chemiebetrieb ist die absolut oder relativ verminderte Inanspruchnahme der natürlichen Standortressource bei steigender Industrieproduktion. Für die BASF, die in den Jahren 1958, 1959 und 1960 umfangreiche Wassersparmaßnahmen i.o.S. eingeleitet hat, läßt sich dieser Erfolg als deutliche Zäsur in der Statistik der Flußwasserförderung nachweisen. Wenn hierzu in Abb. 40 die prozentuale Steigerung des Werksumsatzes im Vergleich zur Wasserförderung dargestellt wurde, dann soll damit nicht etwa auf einen funktionalen Sachzusammenhang zwischen beiden Variablen hingewiesen werden. Tatsächlich läßt sich eine derartige Beziehung allein schon wegen der bereits erwähnten Ambivalenz des technischen Fortschritts hinsichtlich des Wasserverbrauchs nicht ableiten. Die Grafik hat vielmehr eine Senkung des spezifischen Wasserverbrauchs per se zu demonstrieren ohne den Schluß auf bestimmte Gesetzmäßigkeiten nahezulegen. Die Vergleichsgröße "Umsatz" ist dabei nur ein Behelfsmaßstab, da sich die BASF zur Angabe der (mengenmäßigen) Produktivitätssteigerung nicht bereitfinden konnte. Trotzdem sind Preisverfälschungen nur insofern zu berücksichtigen, als die Chemische Industrie durch den unverändert scharfen Wettbewerb auf den Weltmärkten eine leicht rückläufige Tendenz in den Verkaufserlösen hinnehmen mußte. Lediglich in den Jahren 1968 und 1969 konnte die BASF von einem teilweise stabileren Preisniveau berichten. So gesehen ist die spezifische Wasserverbrauchssenkung der BASF, und damit die effizientere Ausnutzung der gegebenen Standortressource "Flußwasser", noch etwas höher zu veranschlagen.

Flußwasserverbrauch und Umsatzsteigerung der BASF (1950 = 100)

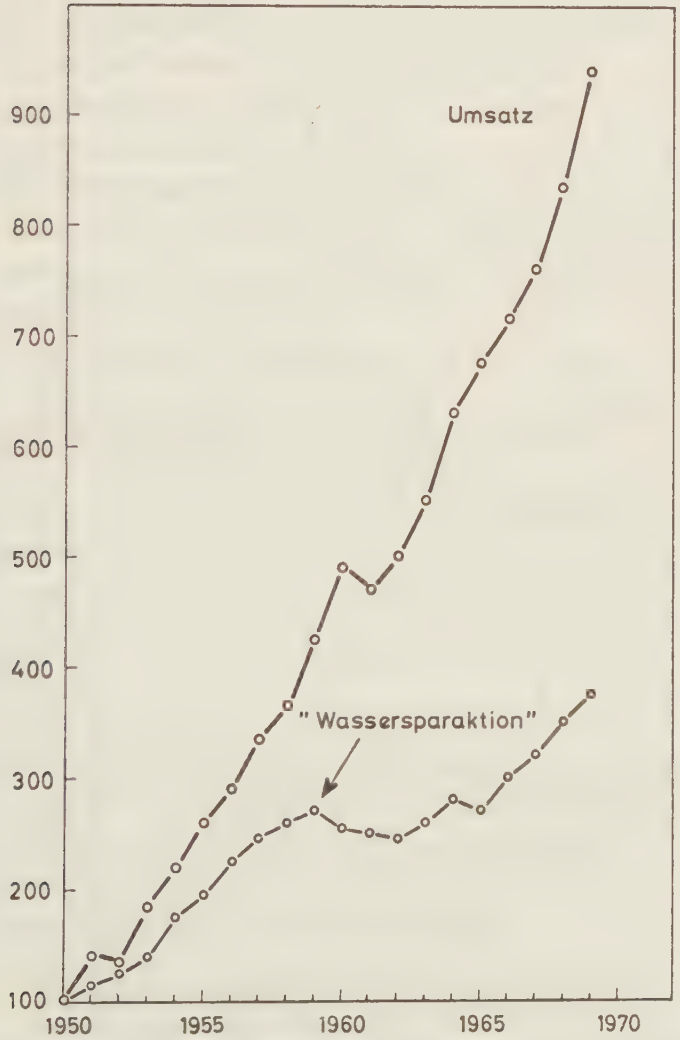


Abb. 40

2.4 Kosten der chemiebetrieblichen Wasserversorgung

Der enge, da naturgesetzlich determinierte Ermessensspielraum beim produktiven Wassereinsatz hat im Rahmen der bisherigen Analyse zu einer besonderen Betonung quantitativer und qualitativer Gesichtspunkte geführt. Das darf jedoch nicht darüber hinwegtäuschen, daß auch die Nutzung der Standortressource Wasser, wie jede produktive Tätigkeit, letztlich Ausdruck einer ökonomischen Entscheidung ist, für deren Vorbereitung bzw. kritischen Überprüfung die Höhe der Wasserversorgungskosten ein entscheidendes Kriterium darstellt. Der empirische Nachweis soll im Zusammenhang mit einer 3-fachen Problematisierung des hier interessierenden Kostenbegriffs geführt werden.

1. Das im Chemiebetrieb hauptsächlich genutzte Flußwasser ist als natürliche Standortressource ein extrem transportkostenempfindliches Einsatzgut. Sein auf den Rohzustand bezogener Kostenwert wird ausschließlich durch die potentielle Raumüberwindung zur Stätte des Bedarfs bestimmt. In der modelltheoretischen Sicht der empirisch-realistischen Standortbestimmungslehre bedeutet das ein extrem enges, d.h. punktuelles Beschaffungsgebiet, was den standortsuchenden Unternehmer ab einer gewissen Größenordnung des betriebsindividuellen Beschaffungspotentials in der Regel dazu veranlassen wird, die räumliche Basis seiner Produktionsstätte in unmittelbarer Nähe ausreichender Flußwasservorkommen zu suchen. Die BASF bietet hierfür ein gutes Beispiel.

2. Über die Höhe der chemiebetrieblichen Wasserversorgungskosten entscheidet bei Fortfall sog. "Fremdbezugskosten" nicht das standortspezifische Knappheitsverhältnis, sondern

   a) der Zwang zur innerbetrieblichen Raumüberwindung vom Einlaufwerk über Wasserwerk, Flußwassernetz bis hin zum verfahrenstechnischen Einsatz in den Betriebsteilen sowie
   b) das Ausmaß einer sich am jeweiligen Verwendungszweck des Rohwassers orientierenden Wasseraufbereitung.

Rationalisierungsbestrebungen dürfen daher nicht ausschließlich unter

dem Blickwinkel der verminderten Inanspruchnahme natürlicher Standortressourcen gesehen werden, wie das z.B. der für die BASF im Verhältnis zum Branchendurchschnitt relativ geringe Kreislaufwasseranteil mit Hinweis auf die reichliche Wasserführung des Rheins vermuten läßt. Das einzelwirtschaftlich allein interessierende Resultat einer verbesserten Ausnutzung örtlicher Wasservorkommen muß in einer Senkung der unter a) und b) erwähnten spezifischen innerbetrieblichen Transport- und Wasseraufbereitungskosten zum Ausdruck kommen.

Zunehmende Flußwasserverschmutzung und wachsender Kühlwasserbedarf bei Produktionsausweitung bzw. die parallel hierzu notwendig werdenden baulichen Maßnahmen haben bei der BASF einen derartigen Rationalisierungseffekt mehr als kompensiert, so daß die Verrechnungspreise für Flußwasser innerhalb des Werkes Ludwigshafen laufend erhöht werden mußten (Abb. 41):

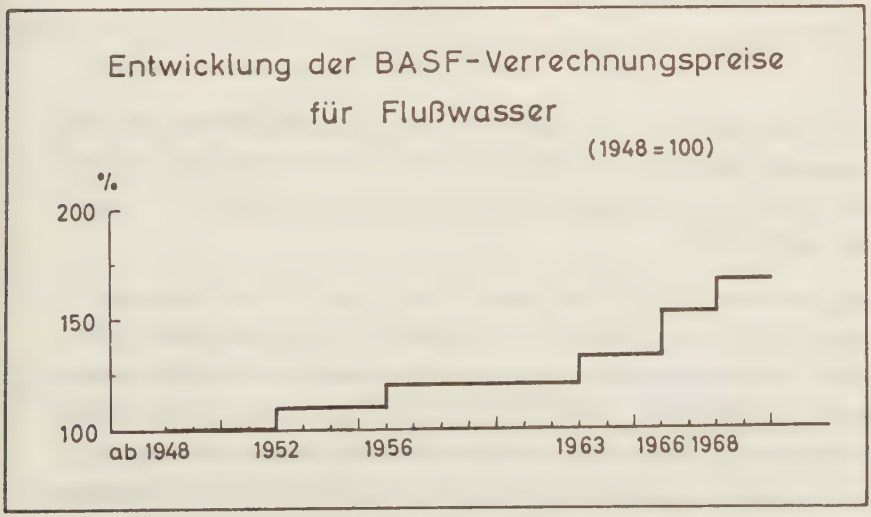


Abb. 41

Bei der Versorgung des Chemiebetriebes mit Kesselspeisewasser ergibt sich unabhängig vom eigentlichen Dampfkesselbetrieb ein rationalisierungshemmender Faktor durch den zunehmenden Anteil (verschmutz-

ten) Flußwassers im Rohwassereingang, der z.T. allerdings durch die spezifisch geringeren Förderkosten gegenüber Brunnenwasser wieder ausgeglichen werden kann. Die bereits mit der Darstellung der Kesselspeisewasseraufbereitung zum Ausdruck gekommene Kapitalintensität sowie der hohe Chemikalieneinsatz lassen sich auch in der Kostenstruktur nachweisen (Tab. 42):

KOSTEN DER KESSELSPEISEWASSERAUFBEREITUNG (BASF) (1968)

	DM	%
Materialkosten	1 386 435	18,7
Personalkosten	1 174 668	15,8
Energiekosten	849 996	11,4
Kapitalnutzungskosten	2 820 707	38,1
Werkstattkosten	945 347	12,7
Sonstige Kosten	244 992	3,3
Gesamtkosten	7 422 145	100,0

Tab. 42

Im Überschlag erhöht sich damit der spezifische Kostenwert des Deionatausgangs gegenüber dem für das Flußwasser anzusetzenden innerbetrieblichen Verrechnungspreis angenähert um den Faktor 20 auf rd. DM -,40/m^3 64).

Die Versorgung mit Trinkwasser bietet sowohl vom Mengengerüst als auch vom Wertansatz her die geringsten Rationalisierungsmöglichkeiten. Die bereits erwähnte belegschaftsbezogene und sanitärhygienische Aufgabenstellung sowie die nur über tarifliche Mengenstaffel bzw. Sonderverträge mit der jeweiligen Gebietskörperschaft beeinflußbare Kostengestaltung engen den betriebswirtschaftlichen Dispositionsrahmen erheblich ein. Der Faktor $\approx$15 ist ein erster Anhaltspunkt für den spezifischen Kostenwertansatz im Verhältnis von Flußwassereigenförderung

64) Bezugsbasis: Deionat-Ausgang 1968: 19,6 Mio. m^3 (Vgl. Fußnote 53, S. 66)

zu Trinkwasserfremdbezug[65].

3. Der verfahrenstechnisch zu fordernde hohe Einsatz von Kühlwassermengen wird erst bei optimaler Standortsituation zu einer geringstmöglichen spezifischen Kostenbelastung führen. So zeigt z.B. die Wirtschaftlichkeitsberechnung von zwei aus C_4-Crackschnitten nach BASF-Verfahren gewonnenen petrochemischen Grundstoffen hohe Verbrauchszahlen für die Energieträger Dampf, Elektrizität und Kühlwasser. Allein die Rückgriffsmöglichkeit auf eine werkseigene Flußwasserversorgung verhindert eine entsprechend hohe Beteiligung des Kühlwassers am Gesamtkostenvolumen (Tab. 43). Bereits der fiktive Ansatz von Fremdbezugskosten mit einer Zehnerpotenz über den werksinternen Verrechnungspreis würde die gesamte Kostenstruktur, die Angebotspreisstellung und damit die produktspezifische Wettbewerbssituation grundlegend verändern.

---

65) Die BASF konnte sich zur Angabe des Trinkwasserbezugspreises leider nicht bereitfinden, so daß auf Behelfsrechnungen ausgewichen werden mußte: Nach Auskunft der Stadtwerke Ludwigshafen beträgt der allgemeine Tarif für den Trinkwasserbezug DM -,50/m^3. Sonderverträge mit chemieindustriellen Großabnehmern, wie z.B. BASF AG, Dr. F. Raschig GmbH, Gebr. Giulini GmbH, Knoll AG u.a. führten jedoch 1968 zu einem Durchschnittserlös von DM -,43/m^3, so daß nach Berücksichtigung ihres rd. 44 %igen Anteils (BASF: 34 %) am städtischen Trinkwasserverbrauch der im Verhältnis zum Verrechnungspreis für Flußwasser anzusetzende Faktor von $\approx$15 im Überschlag gerechtfertigt erscheint.

WIRTSCHAFTLICHKEITSBERECHNUNG PETROCHEMISCHER GRUNDSTOFFE AUS C_4-CRACKSCHNITTEN (BASF)[66]

	Butadien-1, 3 $H_2C = CH - CH = CH_2$	Isobutylen $H_2C = C(CH_3)_2$
Produktionsverfahren	NMP - Verfahren (Gegenstromgaswäsche bei Verwendung von wasserhaltigem N-Methylpyrrolidon (NMP) als selektives Lösungsmittel mit anschließender Rektifikation)	Schwefelsäure - Verfahren (Hydratisierung mit 65 %iger Schwefelsäure zu tert. Butanol, dessen Abdestillation als Azeotrop, Dehydratisieren in Isobutylen und Wasser sowie destillative Reinigung durch Fraktionierung)
Investitionskosten[67]	6, 3 Mio. DM	4, 5 Mio. DM
Rohstoffeinsatz	128 500 jato roher C_4-Crackschnitt mit 45 Gew.-% Butadien-1, 3 $\hat{=}$ 55 000 jato Reinst-Butadien	13 500 jato Butengemisch mit 50 Gew.-% Isobutylen $\hat{=}$ 6 000 jato Reinst-Isobutylen
Betriebsstunden	8 000 h/a	8 000 h/a
Produkt-Spezifikation	Butadien-1, 3 > 99, 5 % Acetylene < 50 ppm Allene < 100 ppm Ausbeute 95 %	Isobutylen 99, 9 % n - Butene 0, 05 % tert. Butanol + Diisobutylene 0, 01 % Ausbeute 90 · %
Verbrauchszahlen (je t Endprodukt)		
Dampf (14 atü)	2, 2 t	2, 5 t
Elektr. Energie	350 kWh	350 kWh
Kühlwasser (25 °C)	150 m^3	400 m^3
NMP	< 0, 25 kg	-
Erdgas	-	140 m^3

Tab. 43

Kostenart	DM je Kosteneinheit bzw. -periode	Butadien-1,3 DM je t Endprodukt	Butadien-1,3 %	Isobutylen DM je t Endprodukt	Isobutylen %
Dampf	10 DM/t	22	10,8	25	6,6
Elektrische Energie	4 DM/100 kWh	14	6,8	20	5,2
Erdgas	6,5 DM/100 m^3	-	-	9	2,4
Kühlwasser	2 DM/100 m^3	3	1,5	8	2,1
NMP u. sonst. Chem. Chemikalien		1	0,5	-	-
		-	-	1	0,3
Kapitaldienst (4 Jahre Wiedereinbringung)	Butadien: 1,575 Mio. DM/a Isobutylen: 1,125 Mio. DM/a	28,6	14,0	187	49,0
Reparaturkosten (4 % der Investitionskosten p.a.)	Butadien: 252 000 DM/a Isobutylen: 180 000 DM/a	4,6	2,3	30	7,9
Personalkosten (2 Mann pro Schicht)	10 DM/h	1,45	0,7	1,45	0,4
Einsatzprodukt in C_4- bzw. Butengemisch		130	63,4	100	26,1
Herstellungskosten		205	100	381	100

Tab. 43 (Fortsetzung)

3 Die Abwasserreinigung im Chemiebetrieb

3.1 Gesamtableitung von Wasser in der Chemischen Industrie

3.11 Anteil der Chemischen Industrie an der industriellen Gesamtableitung von Wasser

Mit der Darstellung des chemiebetrieblichen Wasserbedarfs und seiner Bestimmungsgründe konnte auf die große Bedeutung der rohwasserbezogenen Beschaffungspotentialüberlegungen im Rahmen der Standortanalyse hingewiesen werden. Im Endergebnis erklären sie für den Chemiebetrieb ein ausreichendes Wasservorkommen gewissermaßen zur regionalwirtschaftlichen conditio sine qua non.

Trotzdem sind damit die wasserwirtschaftlichen Standortprobleme nur zur Hälfte erfaßt. Wie bereits dargelegt, kann nur ein geringer Teil des ohnehin nur mit rd. 18 % am chemieindustriellen Gesamtwasseraufkommen beteiligten "Sonstigen Fabrikationswasser" als stoffliche Reaktionskomponente des Prozeßgeschehens angesehen werden. Nur für diesen Teil geht Wasser in chemische Endprodukte ein: ob mit seinen atomaren Bestandteilen oder molekular als Roh- und Hilfsstoff bzw. Kristallwasser, es verläßt mit den Verkaufsprodukten die Produktionsstätte und repräsentiert insofern ein entsprechendes Defizit in der örtlichen Wasserbilanz.

Ganz überwiegend übt das Wasser jedoch betriebsstoffmäßige Funktionen aus und muß daher nach seiner betrieblichen Nutzung wieder abgeleitet werden. Den geschilderten Größenordnungen bei der Wasserversorgung entsprechend gilt die Chemische Industrie als besonders abwasserintensiv und stellt damit allein rein quantitativ erhöhte Anforderungen an die Aufnahmefähigkeit des örtlichen Vorfluters bzw. der kommunalen Kanalisation.Darüber hinaus wird das Wasser durch seine betriebsstoff-

---

66) Zusammengestellt aus: Platz, R. u.a.: Verfahren zur Herstellung petrochemischer Grundstoffe (II). In: Chemische Industrie. 22. Jg., Nr. 1/1970, S. 32 f.

67) Preis für BRD, ohne Steuern, Ingenieurgebühr und bei dem NMP-Verfahren ohne Lösungsmittelerstfüllung.

mäßige Beteiligung am chemisch-technologischen Prozeß vielfältigen physiko-chemischen Einwirkungsmöglichkeiten ausgesetzt, die zu entsprechenden qualitativen Veränderungen führen. Die Raumwirksamkeit der Chemischen Industrie besteht somit nicht - wie etwa bei der Wasserversorgung - in einer mehr oder weniger starken Inanspruchnahme gegebener Standortressourcen für konkrete betriebliche Zielsetzungen, sondern in einer unmittelbaren Beeinträchtigung der Umwelthygiene. Dabei bestimmen sowohl die Leistungsstärke des natürlichen Vorfluters (Wasserführung, Selbstreinigungskraft) bzw. die kommunalen Klärverhältnisse als auch die eingeleiteten Schmutzstoffe einschließlich der physikalischen Konditionierung das Ausmaß des örtlichen Abwasserproblems.

Mit dem sprunghaften Anstieg des industriellen Wasserbedarfs erhöht sich auch zwangsläufig der Abwasseranfall. Die wöchentliche Steigerungsrate entspricht dabei für die letzten 10 Jahre dem Wasserbedarf einer Stadt von 50 000 Einwohnern[68]. Es versteht sich von selbst, daß an dieser Entwicklung wiederum die Chemische Industrie maßgeblichen Anteil hat. So entfallen nach den Ergebnissen der bereits mehrfach zitierten Zusatzerhebung zum Industriebericht für das Jahr 1965 von den insgesamt abgeleiteten industriellen Abwässern (= 10,35 Mrd. m^3) rd. 28 % (= 2,86 Mrd. m^3) auf die Chemische Industrie[69]. Die übrigen Industriegruppen zeigen eine dem Wasseraufkommen entsprechende Verteilung, so daß auf eine tabellarische Darstellung verzichtet werden kann. Viel aufschlußreicher sind hingegen die Angaben zum Verschmutzungsgrad des Abwassers sowie der Art seiner Ableitung. So gelten als eigentlich verschmutzt "nur" 17,7 % (= 507,3 Mio. m^3), von denen darüber hinaus 70 % (= 355,3 Mio. m^3) eine gewisse Vorbehandlung in den Werken erfahren; 82,3 % (= 2 853,6 Mio. m^3) entfallen auf unverschmutzte, zum

---

68) Hunken, H.: Stand der Realisierung von Abwasserreinigungs- und Wasserkreislaufanlagen bei der Industrie in Deutschland (Vortrag: Fachtagung Pro Aqua 69 in Basel am 28.5.1969)

69) Vgl. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden (Hrsg.): Wasserversorgung der Industrie 1965, a.a.O., S. 14 f.

Gesamtableitung von Wasser durch die Chemische Jndustrie der BRD 1965

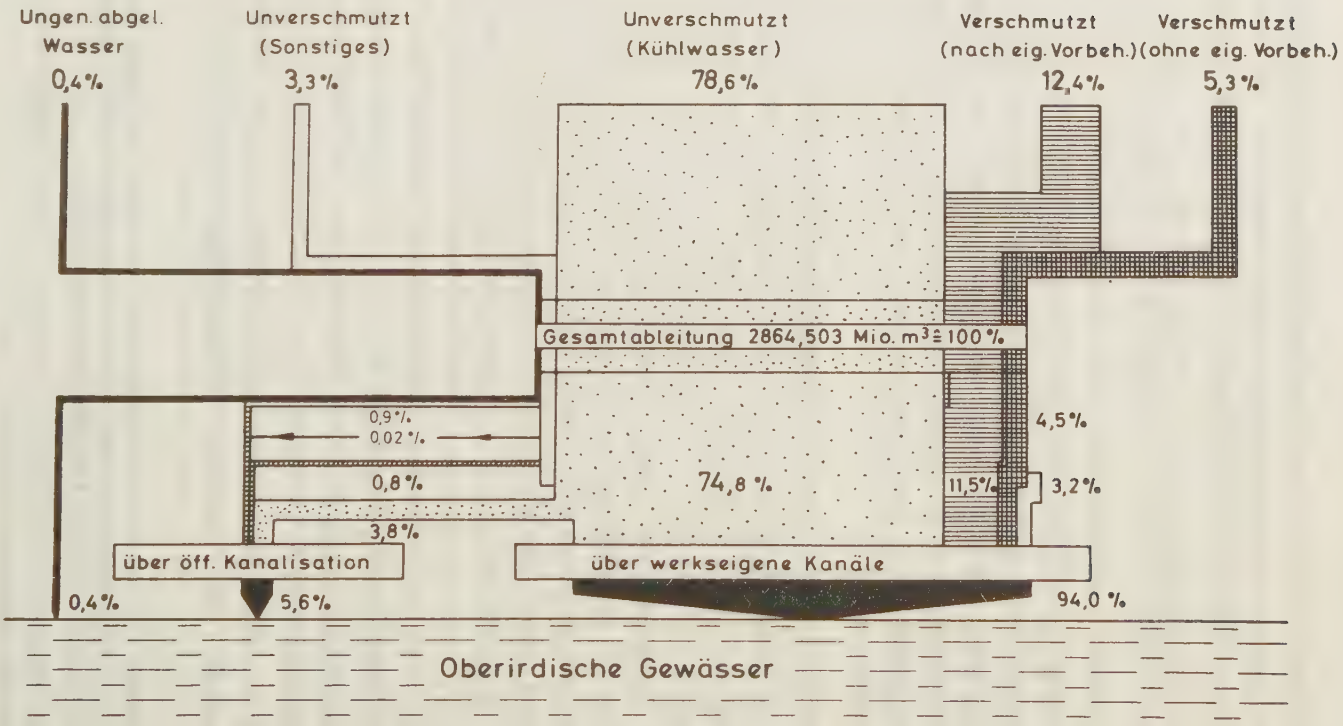


Abb. 44

überwiegenden Teil (= 78,9 % = 2 253,7 Mio. m^3) aus Kühlwasser bestehende Abwässer. Der Ableitung dient grundsätzlich (= rd. 95 %) ein natürlicher Vorfluter (Abb. 44).

3.12 Regionale und betriebliche Begrenzung des Untersuchungsobjekts

Der hohe Wasserbedarf und die daraus resultierende Abwasserintensität der Chemischen Industrie haben in Westdeutschland zu einer räumlichen Konzentration dieses Industriezweiges in wasserwirtschaftlich stark beanspruchten Ballungsgebieten geführt[70]. Das gilt insbesondere auch für den Rhein-Neckar-Raum, auf dessen bedeutenden Chemieanteil im vorderpfälzischen Industriegebiet bereits im Rahmen der Wasserversorgungsanalyse hingewiesen wurde. Auf einen zusätzlichen, nunmehr abwasserbezogenen statistischen Beleg kann daher verzichtet werden[71].

Nach dieser regionalen Begrenzung sei zur Konkretisierung des chemiebetrieblichen Abwasserproblems wiederum die BASF als Demonstrationsobjekt herangezogen. Dabei gestattet der Rückgriff auf die Gründungszeit zugleich eine Erklärung der gegenwärtigen Abwassersituation. So heißt es in der Konzessionsurkunde des kgl. bayr. Bezirksamtes Speyer vom 8. Mai 1865: "Bezüglich der Ableitung des Wassers haben sich die Concessionäre nach den Vorschriften zu richten, wie sie von der k. Baubehörde Speyer gegeben werden." Nach diesen Vorschriften war es der BASF aus den bereits an anderer Stelle erwähnten Gründen untersagt, den Hochwasserdamm am Rhein mit Abwasserkanälen zu durchfahren. Damit konnte z.B. der im Jahre 1866/67 erbaute und heute noch vorhandene erste Abwasserkanal (Kanal-Nr. II) die anfänglich in offenen Rinnen ("Kandeln") gesammelten Werksabwässer nur bis in die Nähe des Rhein-

---

70) TESKE beziffert diesen Anteil mit 86 % der westdeutschen Chemischen Industrie (Vgl. Teske, Wolfgang: Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung in der Chemischen Industrie in Deutschland. Vortrag: Fachtagung Pro Aqua 69 in Basel am 30.5.1969).

71) Vgl. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden (Hrsg.): Wasserversorgung der Industrie 1965, a.a.O., S. 16 ff.

dammes führen, während Schöpfwerke bzw. später Pumpen die eigentliche Ableitung in den Vorfluter übernahmen. Diese Auflage begünstigte in der Vergangenheit zweifellos die Entwicklung eines Mischkanalisationssystems, wonach Kühl-, Schmutz- und Regenwasser in gemeinsamen Kanälen abgeleitet werden.

Inzwischen hat die Gesamtabflußmenge der BASF eine Größenordnung von 2 bis 2,4 Mio. m^3/Tag erreicht. Der Ableitung dient ein 50 km langes Kanalnetz, das mit seinen - über eine Uferstrecke von 5,4 km verteilten - 15 Ausläufen die Werksabwässer dem Rhein zuführt (Tab. 45 in Verbindung mit Abb.63). Ein im Verhältnis zur Gesamtableitung verschwindend kleiner Teil wird in das öffentliche Kanalnetz der Stadt Ludwigshafen abgegeben. Er stammt im wesentlichen aus Gebäuden, die an der Peripherie des Werksgeländes liegen, in denen aber keine Produktionsaufgaben durchgeführt werden (u.a. ein Verwaltungsgebäude, Ambulanz, Lehrwerkstätte).

3.2 Die Zusammensetzung des chemiebetrieblichen Abwassers und sein Einfluß auf die Umwelthygiene

3.21 Kategorien des chemiebetrieblichen Abwassers

Die Gegebenheiten eines organisch gewachsenen Mischkanalisationsnetzes dürfen nicht über die grundsätzliche Heterogenität des Chemieabwassers hinwegtäuschen. Sie ergibt sich zwangsläufig aus der bereits analysierten unterschiedlichen Aufgabenstellung des betrieblichen Wasserbedarfs und muß damit die Entwicklung einer Wasserableitungskasuistik gestatten, die sich im wesentlichen an den Kategorien des Wasserbedarfs orientiert:

Als Ableitungsarten lassen sich mithin unterscheiden:

1. Kühlwasser,
2. Fabrikationsabwasser
3. Bautenentwässerung und
4. Regenwasser.

WASSERFÜHRUNG DER BASF - ABWASSERKANÄLE

(1966)

Kanal	Rhein-km	Wasserführung (Tagesdurchschnitt) m^3	Abwasseranalytische Anmerkungen
Ia	426,2 + 12	2 000	Spritzwasser für Siebreinigung Wasserwerk Süd
I	426,3 + 94	70 000	Wasserwerk Süd
III	≈426,5	-	z. Zt. stillgelegt
IVa	426,6 + 09	120 000	Farbenabteilung
IV	≈426,7	-	z. Zt. stillgelegt
V	426,8 + 59	77 000	gemischt
VI	427,0 + 57	50 000	anorg., Säure
VIa	427,1 + 60	100 000	gemischt
VII	427,4 + 41	130 000	gemischt
VIII	428,0 + 60	385 000	gemischt, größtes Einzugsgebiet, höchste Schmutzfracht
VIIIc	428,2 + 09	-	Überlauf, nur zeitweilig in Betrieb
IX	429,8 + 49	550 000	gemischt
X/Xa	429,9 + 37 429,9 + 45	280 000	gemischt, Doppelrohr
XII	430,2 + 82	370 000	gemischt
XIV	431,4 + 73	-	Niederschlag, früher XIII
Insgesamt		2 134 000	
Tagesdurchschnitt		2,0 - 2,4 Mio. m^3	

Tab. 45

Wie bei den Wasserversorgungskategorien dominiert auch hier quantitativ das Kühlwasser. Für die BASF wird dieser Anteil - bezogen auf das Jahr 1965 - mit immerhin rd. 76 % angegeben, auch wenn er damit noch etwas unter dem Branchendurchschnitt ($\approx$ 79 %) liegt. Inzwischen (1968) hat er sich auf rd. 83 % erhöht (Tab. 46).

Seiner Funktion in Oberflächenkondensatoren entsprechend kommt das Kühlwasser mit chemischen Produkten nicht in Berührung und ist damit frei von beigemischten Fremdstoffen. Insofern kann Kühlwasser als "unverschmutztes Abwasser" gelten. Wenn jedoch darüber hinaus unter Bezugnahme auf die Flußwasseraufbereitung für Kühlzwecke die Filterqualität des abgeleiteten Wassers als "ein Beitrag zur Gewässerreinhaltung"[72] bezeichnet wird, so bedarf diese Aussage einer mehrfachen Relativierung. Ein echter Beitrag zur Gewässerreinhaltung liegt nur dann vor, wenn die bei der Flußwasseraufbereitung anfallenden Schlämme für immer dem Vorfluter entzogen und nicht per Filterrückspülung - wie z. Zt. noch bei der BASF - wieder eingebracht werden. Selbst für den Fall, daß diese Schlämme durch Verbrennen bzw. Deponie beseitigt oder zumindest in ihrem Volumen reduziert werden konnten, bleiben immer noch die möglichen Auswirkungen der thermischen Belastung auf die Biozönose des Vorfluters bestehen.

Trotz der Einschränkungen hinsichtlich der Unbedenklichkeit abgeleiteten Kühlwassers gilt die zweite Kategorie - das Fabrikationsabwasser[73] - als unvergleichlich problematischer. Ohne den noch zu erörternden analytischen Merkmalen vorgreifen zu wollen, sei bereits hier darauf hingewiesen, daß sich ausschließlich in dieser Abwasserkategorie sowohl die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten des Wassers im Prozeßgeschehen als auch die Heterogenität des chemieindustriellen Leistungsprogramms widerspiegeln. Sei es als Lösungsmittel bei chemischen

---

72) Teske, Wolfgang: Abwasserreinigung in der chemischen Industrie als technische und wirtschaftliche Integrationsaufgabe. In: Wasser, Luft und Betrieb. 12. Jg., Nr. 3/1968, S. 133

73) In der Literatur finden sich hierzu auch die Synonyma "Prozeßabwasser" und "Schmutzwasser".

ANTEIL DER BASF AN DER GESAMTABLEITUNG VON WASSER DURCH DIE CHEMISCHE INDUSTRIE DER BRD

	Gesamt-ableitung	Ungen. abgel. Wasser	Nach Nutzung im eigenen Betrieb abgeleitetes Wasser				
			Insgesamt	unverschmutzt		verschmutzt	
				zusammen	darunter Kühlwasser	nach eigener Vorbehandlung	ohne eigene Vorbehandlung
CHEM. IND. 1965							
1000 m^3	2 864 503	10 930	2 853 573	2 346 304	2 252 748	355 255	152 014
%	100	0,4	99,6	81,9	78,6	12,4	5,3
BASF 1965							
1000 m^3	798 080	-	798 080	695 130	608 800	71 090	31 860
%	100		100	87,1	76,2	8,9	4,0
BASF 1967							
1000 m^3	940 330		940 330	798 790	761 530	141 540	
%	100		100	84,9	81,0	15,1	

Tab. 46

Reaktionen, als Spül- und Reinigungswasser in den Betrieben oder als Waschwasser zur Abluftbehandlung, in allen Fällen kommt es mit Chemikalien in Berührung und ist daher mehr oder weniger stark verschmutzt.

Die Bautenentwässerung, zu der insbesondere Wasch- und Fäkalabwässer zählen, sowie die Erhöhung des Trockenwetterabflusses durch Regenwasser haben branchengenerelle Bedeutung und bedürfen daher keiner weiteren Erörterung. Es sei lediglich auf die kapazitiven Probleme hinsichtlich der vom Werksgelände abzuleitenden Niederschlagsmengen hingewiesen, die bei flächenintensiven Betrieben wie der BASF (1969: 5,63 km^2) immerhin rd. 25 200 m^3/h betragen und damit den Trockenwetterabfluß um rd. 1/3 auf 108 500 m^3/h erhöhen[74].

Darüber hinausgehende differenzierte Mengenangaben können - im Gegensatz zum Kühlwasser - für die drei letzten Abwasserkategorien sowohl für die Chemische Industrie als auch für die BASF nicht gemacht werden, da die Zusatzerhebung zum Industriebericht bezüglich der Ableitung von Wasser nur den Verschmutzungsgrad und die Ableitungsart zu Befragungskriterien erhoben hat (Tab. 46). Danach gelten für die BASF im Jahre 1965 rd. 13 % (= 102,95 Mio. m^3) als verschmutzt (1967 = 141,54 Mio. m^3 = 15 %), worin sich mithin der Trockenwetterabfluß aus Fabrikationsabwasser und Bautenentwässerung zu teilen hätten. Den darüber hinaus der Statistik zu entnehmenden Angaben zum Umfang einer werksinternen Vorbehandlung des Abwassers ist nur mit Zurückhaltung zu begegnen, da die Frage, inwieweit Chemieabwässer ausreichend bzw. noch nicht ausreichend gereinigt sind, keineswegs sicher beantwortet werden kann. Nicht zuletzt deswegen blieb ja die Chemische Industrie bislang von den "Normalanforderungen für Abwasserreinigungsverfahren" der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) ausgenommen[75].

---

74) Vgl. hierzu auch Engelhardt, H. und Haltrich, W.: Vorarbeiten für die Gemeinschaftskläranlage der BASF und der Stadt Ludwigshafen am Rhein. In: Chemie-Ingenieur-Technik. 40. Jg., Nr. 6/1968, S. 279

75) Vgl. Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA)(Hrsg.): Normalanforderungen für Abwasserreinigungsverfahren. Stand 1966. Unveränderte 2. Auflage. Hamburg 1969, S. 11

Aber auch ein Hinweis darauf, was überhaupt als Vorbehandlung angesehen werden kann, ist der zitierten Statistik nicht zu entnehmen,[76] so daß formal gesehen Gleichwertigkeit zwischen grob-mechanischer Behandlung und vollbiologischer Abwasserreinigung besteht, was im Endergebnis den Aussagewert dieser Zahlen praktisch wertlos macht und die BASF veranlaßte, für 1967 diesen Komplex mengenmäßig nicht mehr differenziert auszuweisen (Tab. 46).

3.22 Bestimmungsfaktoren der umwelthygienischen Einflußnahme durch Chemieabwässer

3.221 Analytische Charakteristika

Bei der Analyse der von Chemieabwässern ausgehenden umwelthygienischen Einflüsse kommt den analytischen Merkmalen vorrangige Bedeutung zu. Mit ihnen lassen sich Art und Umfang der physiko-chemischen Veränderungen nachweisen, die das Einsatzgut "Wasser" im betrieblichen Prozeßgeschehen erfährt. Gleichzeitig werden damit aber auch die technischen und wirtschaftlichen Schwierigkeiten sichtbar, mit denen sich der Chemiebetrieb bei seinen auflagenbezogenen Bemühungen um abwassertechnische Sanierung auseinandersetzen muß.

Diese Schwierigkeiten lassen sich mit der grundsätzlichen Polarität erklären, die sowohl zwischen Chemie- und Kommunalabwässern, als auch im Verhältnis zu den entsprechenden flüssigen Abgängen der übrigen Industriezweige besteht. So kann bei der Analyse kommunalen Abwassers hinsichtlich des Verschmutzungsgrades im 24-Stundenmittel von bestimmten Erfahrungssätzen ausgegangen werden (Tab. 47). Dabei beziehen sich diese Angaben auf einen - für europäische Verhältnisse repräsentativen - städtischen Wasserverbrauch von 150 l je Einwohner und Tag[77].

---

76) Vgl. im Gegensatz hierzu Statistisches Bundesamt, Wiesbaden (Hrsg.): Öffentliche Wasserversorgung und öffentliches Abwasserwesen 1963. Fachserie D, Reihe 5, III. Stuttgart und Mainz 1966, S. 28 ff.

77) Deutsche Großstädte mit anteiliger Industrie: 200 - 350 l/E·d (Vgl. Imhoff, Karl: Taschenbuch der Stadtentwässerung. 22., verbesserte

Selbst die mit forschreitender Zivilisation zwangsläufig verbundene Erhöhung des Wasserverbrauchs[78] läßt die Schmutzmenge nur geringfügig ansteigen, abgesehen von Umschichtungen im Verhältnis der absetzbaren, nichtabsetzbaren und gelösten Stoffe.

VERSCHMUTZUNG DES MITTLEREN ABWASSERS EINER DEUTSCHEN STADT [79]

(ohne gewerbliche Verschmutzung bei 150 l/E Tag)

	min.	org.	gesamt	BSB	
Absetzbare Schwebestoffe	130	270	400	130	
Nicht absetzbare Schwebestoffe	70	130	200	80	230
Gelöste Stoffe	330	330	660	150	
Zusammen:	530	730	1260	360	g/m^3

Tab. 47

Im Gegensatz hierzu die gewerblichen Abwässer: Ihre Zusammensetzung bestimmt sich weitgehend nach den jeweiligen Wassernutzungsmöglichkeiten im Betrieb und variiert damit von Industriezweig zu Industriezweig. Dabei bezieht sich die Heterogenität der industriellen Abwässer nicht nur auf die in ihnen enthaltenen Fremdstoffe (gelöst, emulgiert, suspendiert), sondern auch auf die Menge und die Art ihres Anfalls (kontinuierlich, diskontinuierlich). Trotzdem ergeben sich für viele Industriezweige branchenspezifische Charakteristika. Als Beispiele seien genannt[80]:

Auflage. München 1969, S. 85)(Nordamerika u. Schweiz: 450-600 l/E·

78) Vgl. Eigenbrodt, Arnold: Entwicklungstendenzen in der Wasserversorgung der Bevölkerung. In: Kongreß und Ausstellung Wasser Berlin e.V. (Hrsg.): Kongreß und Ausstellung Wasser Berlin 1968. Vorträge Berlin 1969, S. 48 f.

79) Vgl. Imhoff, Karl: Taschenbuch der Stadtentwässerung, a.a.O., S. 85

80) Vgl. hierzu ausführlich: Meinck, F.; Stooff, H. und Kohlschütter, H.: Industrie-Abwässer. 4., völlig neubearbeitete Auflage von Nr. 6 der "Schriftenreihe des Vereins für Wasser-Boden- und Lufthygiene, Berlin-Dahlem". Stuttgart 1968, S. 519 ff., S. 308 ff., S. 172 ff. und S. 236 ff.

1. Zellstoffabrikation: Sulfatablaugen, Waschwässer,
2. Lebensmittelindustrie: Abwässer mit hochmolekularen Eiweißkörpern, Kohlenhydraten und Fetten einschließlich anorganischen Salzen bzw. erdigen Beimengungen,
3. Erzbergbau: Grubenwässer mit löslichen Mineralsalzen und
4. Kaliindustrie: Schachtwässer als verdünnte, kochsalzreiche Kalisalzlösungen; Endlaugen mit Magnesium-, Kalium- und Natriumchlorid sowie Magnesiumsulfat.

Eine Sonderstellung nimmt auch hier die Chemische Industrie ein. Wenn für diesen Industriezweig überhaupt von einem abwasserbezogenen Branchenspezifikum gesprochen werden kann, dann ist es die Verschiedenartigkeit von Betrieb zu Betrieb, die jede Verallgemeinerung verbietet. Die betriebswirtschaftlich-technischen Besonderheiten dieses Industriezweiges, wie naturgesetzlich-determinierte Verbundproduktion, Heterogenität des Leistungsprogramms sowie die durch technischen Fortschritt bzw. veränderte Marktkonstellation gleichermaßen erzwungene produktionswirtschaftliche Dynamik verleihen jeder Konkretisierung des Abwasserproblems nur betriebsindividuelle Bedeutung.

Darüber hinaus ist durch Verfahrensumstellungen, saisonbedingten Produktionsschwerpunkten und partiellem Chargenbetrieb mit erheblichen Schwankungsbreiten hinsichtlich des Abwasseranfalls einschließlich seiner analytischen Merkmale zu rechnen, so daß die Zeitbezogenheit selbst betriebsindividuelle Aussagen relativieren können. Auch unser Untersuchungsobjekt BASF macht dabei keine Ausnahme.

Die hier z. Zt. noch im Mischverfahren abgeleiteten Werksabwässer können zu rd. 17 % = 14 000 m^3/h als im eigentlichen Sinne verschmutzt angesehen werden. Der pH-Wert liegt zwischen 2 und 3 und der Gehalt an gelösten anorganischen Verbindungen bei 1 g/l. Nach der Größenordnung ihres Anfalls setzen sie sich aus

Chloriden,
Sulfaten
Nitraten und
Karbonaten

zusammen, wobei der mit 200 mg/l angegebene Nitratgehalt relativ hoch ausfällt. Er ist - ebenso wie der nur unbedeutende Anteil an suspendierten Stoffen - ein Charakteristikum des BASF-Abwassers und wird noch im Zusammenhang mit den biologischen Reinigungsmöglichkeiten gesondert zu berücksichtigen sein.

Die Analyse der organischen Verunreinigungen weist äußerst heterogene Verbindungsgruppen aus (Tab. 48):

ORGANISCHE VERUNREINIGUNGEN DES BASF-ABWASSERS (1968)

Verbindungsgruppen	Anteil (%)
Aliphatische Mono-, Di- und Oxycarbonsäuren (1 bis 6 C-Atome)	69,1
Aliphatische Alkohole und Aldehyde	9,5
Andere aliphatische Verbindungen	9,5
Aromatische Verbindungen	11,9
	100,0

Tab. 48

Sie verursachten 1968 einen BSB_5 von rd. 0,5 g/l, das entspricht rd. 170 tato BSB_5 bzw. 3,2 Mio. EGW[81]. 1969 konnte die Schmutzfracht durch (noch zu erörternde) abwassertechnische Maßnahmen auf rd. 96 tato BSB_5 bzw. 1,8 Mio. EGW gesenkt werden. Biologisch-toxisch wirkende Stoffe gelten als "im Abwasser praktisch nicht enthalten", das gleiche bebezieht sich auf Öle, Benzine und Lösungsmittel, da ihre Abscheidung bereits im Werk erfolgt.

Das bei der BASF dominierende Kühlwasser (= 83 %) wird z. Zt. noch gemeinsam mit dem Schmutzwasser abgeleitet und übt insofern auf den Gehalt an Wasserinhaltsstoffen konzentrationsmindernde Wirkung aus. Die absolute Schmutzfracht bleibt hiervon unberührt.

---

81) Der Einwohnergleichwert (EGW) gibt den 5-tätigen biochemischen Sauerstoffbedarf (BSB_5) an, der zum vollständigen oxydativen Abbau einer je Einwohner und Tag anfallenden häuslichen Abwassermenge benötigt wird; er beträgt für deutsche Verhältnisse 54 g.

3.222 Lokale Entwässerungsmöglichkeiten

Das Problem der Raumwirksamkeit chemiebetrieblicher Abwässer darf nicht allein unter dem Gesichtspunkt gegebener Abwassermengen einschließlich ihrer Zusammensetzung gesehen werden. Das Ausmaß umwelthygienischer Einflußnahme bestimmt sich vielmehr erst nach zusätzlicher Berücksichtigung eines wechselbezüglichen Sachzusammenhangs mit den lokalen Entwässerungsmöglichkeiten. Auch das ist eine regionalwirtschaftliche Rahmenbedingung, die über Gunst bzw. Ungunst von Industriestandorten entscheidet. Dabei impliziert der nunmehr abfallwirtschaftliche Bezugsrahmen grundsätzlich andere Erfordernisse als die bisherigen Beschaffungspotentialüberlegungen zur Sicherstellung des betrieblichen Wasserbedarfs, so daß die standortanalytischen Ergebnisse möglicherweise differieren können.

Als Ableitungsarten stehen zur Disposition:

1. Einleitung in öffentliche Gewässer,
2. Anschluß an städtische Entwässerungsnetze,
3. Versickerung und Versenkung,
4. Landwirtschaftliche Verwertung und schließlich
5. Vernichtung des Abwassers.

Um mit der ältesten, aber auch zugleich ungeeignetsten Ableitungsart zu beginnen, der Versickerung und Versenkung: Ihre Ausübung verbietet sich bei der Chemischen Industrie allein unter Hinweis auf die Beeinträchtigungen der Grundwasserbeschaffenheit, eine Gefahr, die bei den geschilderten analytischen Merkmalen des BASF-Abwassers nicht näher begründet zu werden braucht.

Ähnliche Gesichtspunkte sprechen auch gegen eine landwirtschaftliche Verwertung, nur daß hier noch zusätzliche Gefahrenmomente, wie u.a. die humuszerstörenden Eigenschaften freier Säuren und Alkalien sowie die Pflanzenschädlichkeit hoher Salzgehalte zu berücksichtigen sind und schon deshalb die eigentliche Zwecksetzung dieser Ableitungsart ad absurdum führen. Die Ausnutzung des Düngewertes dürfte damit nur je-

nen Abwasserarten vorbehalten bleiben, die oxidativ abbaubare organische Substanz möglichst ohne störende Bestandteile enthalten, wie möglicherweise die häuslichen Abwässer oder die Abwässer der Lebensmittelindustrie.

Wenn in der Systematik der Ableitungsarten auch die Vernichtung von Abwasser angeführt ist, dann soll damit weniger die Ableitung, als vielmehr die Beendigung eines wasserwirtschaftlichen Nutzungsprozesses im Industriebetrieb durch physiko-chemische Zerlegung angesprochen werden. Insbesondere betriebswirtschaftliche Erwägungen, wie z.B. die Rückgewinnung wertvoller Abwasserbestandteile, führten zu dieser Form der Abwasserbeseitigung. Als Beispiel sei die Sulfatzellstoffherstellung erwähnt, bei der sich durch thermische Behandlung des Abwassers 95 % und mehr der aus dem Holz gelösten organischen Substanz zur Isolierung von Aufschlußchemikalien verwerten läßt. Gleichzeitig ergibt sich damit ein wichtiges Abgrenzungskriterium zur Abwasserreinigung, bei der es zwar auch um den Entzug bzw. die chemische Umwandlung bestimmter Wasserinhaltsstoffe geht, die aber im übrigen den Zwang zur Wasserableitung nicht aufhebt. In der Chemischen Industrie werden sich unter den Bedingungen einer äußerst heterogenen sowie im Zeitablauf sich wandelnden Abwasserzusammensetzung nur partielle Anwendungsmöglichkeiten der thermischen Abwasservernichtung bieten; sie scheidet mithin ebenfalls als grundsätzliche Ableitungsart aus.

Der Anschluß an städtische Entwässerungsnetze kommt nur für Industriebetriebe mit mäßigem Abwasseranfall in Betracht. Soweit Chemische Großbetriebe - wie die BASF - noch nach dem Mischverfahren entwässern, würden hierdurch städtische Kanalisationsbauten bzw. Kläranlagen von gigantischen Ausmaßen notwendig, und das noch bei einer Abwassermenge, für die zu über 80 % (= Kühlwasser) überhaupt keine Klärnotwendigkeit besteht. Im Falle der Stadt Ludwigshafen, die ihre kommunalen Abwässer z.Zt. nur grob-mechanisch reinigen kann, um sie anschließend dem Rhein zuzuführen, würde der Anschluß an das städtische Kanalisationsnetz ohnehin nur als bloße Verlängerung des Ableitungs-

weges anzusehen sein, dem keinerlei Reinigungseffekt entspricht.

Somit verbleibt die Einleitung in öffentliche Gewässer als die von der Chemischen Industrie grundsätzlich zu nutzende Entwässerungsmöglichkeit. Dabei entscheiden Selbstreinigungskraft und Abflußverhältnisse eines Wasserlaufs über das Ausmaß seiner Belastbarkeit und damit der umwelthygienischen Einflußnahme durch chemiebetriebliche Abwässer. Der Rhein hat sich auch hier im Vergleich zu anderen Flüssen bis in die jüngere Vergangenheit noch als idealer Vorfluter erwiesen, der dank seiner reichlichen Wasserführung (Tab. 13) den Umfang der Verunreinigungsmerkmale in Grenzen hielt. Insofern ist auch unter dem Gesichtspunkt der lokalen Entwässerungsmöglichkeit der BASF-Standort als ausgesprochen günstig anzusehen.

Inzwischen haben sich jedoch einige Veränderungen im Gewässerzustand des Rheins ergeben, die ihn für den Raum Mannheim - Ludwigshafen schon vor der Einleitung von BASF-Abwässern die Wassergüteklasse III, d.h. stark verschmutzt mit bereits überforderter Selbstreinigungskraft, annehmen ließen[82]. Bei dieser Sachlage ist die Frage nach abwasserbezogener Standortgunst nicht mehr ausschließlich unter einem Wasserführung, Abwasserlast-Kalkül zu stellen, sie hat gleichermaßen die Wechselbezüglichkeit zwischen qualitativer Beschaffenheit des lokalen Vorfluters und zusätzlicher Abwasserlast durch chemiebetriebliche Verursacher zu beachten.

3.23 Abwasserlast und Gewässerschutz

Während sich die bisherigen Ausführungen um eine isolierte Darstellung von Bestimmungsfaktoren bemühten, die in ihrer Wechselbezüglichkeit Art und Umfang der umwelthygienischen Einflußnahme durch Chemieab-

---

82) Vgl. Arbeitsgemeinschaft der Länder zur Reinhaltung des Rheins (Hrsg.): Die Verunreinigung des Rheins und seiner wichtigsten Nebenflüsse in der Bundesrepublik Deutschland. Stand Ende 1965. o.O. und J. Anlage 8.3: Der Rheinstrom (Wasserbeschaffenheit), Kartenmaßstab 1 : 1 500 000.

wässer bestimmen, soll nunmehr diese Raumwirksamkeit selbst zum Gegenstand der weiteren Analyse gemacht werden. Dabei lohnt es sich, zunächst einmal nach der Würdigung dieses Sachverhalts durch den unmittelbaren Verursacher, mithin der Chemischen Industrie, zu fragen, zumal sich in der Vergangenheit ein bemerkenswerter Wandel im Problemverständnis vollzog. Das Spektrum der hier bekanntgewordenen und im einzelnen noch nachzuweisenden Interpretationsmöglichkeiten läßt sich mit den Stichworten

'mehr oder weniger ausgeprägte Vernachlässigung',

'bewußte Relativierung' und

'Hervorhebung als Standortfaktor mit zentraler Bedeutung'

umreißen.

So heißt es hinsichtlich der Klärnotwendigkeit des BASF-Abwassers unmittelbar nach der Gründungszeit (1865): "Zur besonderen Behandlung des Abwassers bestand bei dem guten Zustand der Gewässer kein Anlaß"[83]. Daran ist sicher nur soviel richtig, daß die geringe Vorbelastung bzw. der hohe Verdünnungsgrad des Rheins die Beeinträchtigung des natürlichen Vorfluters durch BASF-Abwässer vernachlässigbar klein erscheinen ließen. Mit dieser Feststellung jedoch den Verzicht auf chemiebetriebliche Abwasserreinigung begründen zu wollen, bedeutete schon damals eine absolute Verkennung der möglichen Folgen. Im Vertrauen auf ein günstiges Wasserführung/Abwasserlast-Verhältnis blieb der jeweilige Beitrag zur absoluten Gewässerverschmutzung durch industrielle Gewässernutzer mehr oder weniger unberücksichtigt. Gleichzeitig wurde damit aber eine Entwicklung eingeleitet, deren Ergebnis wir im gegenwärtigen Stand der Rheinverschmutzung zu beklagen haben[84].

---

83) Engelhardt, Hubert: Der Rhein soll sauberer werden. In: BASF-Nachrichten. O.Jg., Nr. 6/1966, S. 1

84) Der Hinweis, daß diese Entwicklung nicht ausschließlich der Chemischen Industrie anzulasten ist, sondern mehr oder weniger auf branchengenerelle Versäumnisse beruht, versteht sich fast von selbst. Im übrigen lehrt ein Blick auf Tab. 49, daß auch im öffentlichen Abwasserwesen noch ein erheblicher Nachholbedarf besteht. Vgl. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden (Hrsg.): Öffentliche Wasserversorgung und öffentliches Abwasserwesen 1963, a.a.O., S. 40

ÖFFENTLICHES ABWASSERWESEN DER BUNDESREPUBLIK
(1963)

Einwohner (in 1000)		Davon waren an die öffentliche Sammelkanalisation (in %)			
		angeschlossen			nicht angeschlossen
		mit gemeinde- oder verbandseigene Kläranlage	ohne	insgesamt	
Bundesgebiet	57 606	50,6	19,2	69,8	30,2
davon:					
Hessen	4 974	50,3	33,0	83,3	16,7
Rheinland-Pfalz	3 494	28,7	37,9	66,6	33,4
Baden-Württemberg	8 081	52,3	26,0	78,3	21,7

Tab. 49

Es entsprach wohl jener Zeit der stürmischen Produktionsausweitungen, daß den rein abfallwirtschaftlichen Fragen einschließlich ihrer Raumwirksamkeit, wenn überhaupt, ein nur geringer Stellenwert zukam; mögliche Schadwirkungen wurden entweder nicht erkannt oder aber bewußt verdrängt. Wie anders läßt es sich sonst erklären, daß es damals zum gewohnten Erscheinungsbild einer Chemischen Fabrik gehörte, wenn Rohstoffe und Abfallprodukte ohne Rücksicht auf mögliche Grundwasserschädigungen im Werksgelände frei abgelagert wurden.

Als Beispiele mit möglichen Schadwirkungen im BASF-Bereich seien u.a. genannt:

1. das in der ersten Stufe des Leblanc-Sodaprozeß erzeugte bzw. für die zweite Stufe benötigte Natriumsulfat, das zu "weißen Bergen" vor der Soda-Fabrik lagerte[85)86)],

2. die bei der Sodafabrikation mit 1 - 1,5 t je t Endprodukt anfallenden Rückstände, die sich im wesentlichen aus Schwefelcalcium, -natrium, -eisen, Calciumkarbonat, Ätzkalk, Tonerde, Arsenverbindungen, Sand und Kohle zusammensetzten[87)] und ebenfalls auf Halde gingen sowie

3. die sog. "Kiesabbrände" der Schwefelsäurefabrikation, die beim Abrösten sulfidischer Erze anfielen und bei ihrer Lagerung im Freien an durchsickernde Niederschlagswässer freie Schwefelsäure bzw. die entsprechenden Metallsulfate abgaben.

Hierdurch eingetretene Grundwasserschädigungen sind oft erst nach Jahrzehnten nachzuweisen[88)].

---

85) Vgl. BASF (Hrsg.): Im Reiche der Chemie, a.a.O., S. 12

86) Zum Leblanc-Sodaprozeß vgl. auch S. 129 f.

87) Vgl. Meinck; F., Stooff, H. und Kohlschütter, H.: Industrie-Abwässer, a.a.O., S. 245

88) So lieferten z.B. Versuchsbohrungen der BASF zum Bau eines Horizontalfilterbrunnens (Ranney) im Jahre 1952 sehr schlechte Wasserqualitäten, die vermutlich "auf Ablagerungen von Fabrikationsrückständen aus früheren Jahren zurückzuführen" waren.

Die mit einer gewissen Unbekümmertheit in Umweltfragen zu charakterisierende chemieindustrielle Gründerzeit wurde durch eine Periode abgelöst, in der sich diese Versäumnisse der Vergangenheit in einer zunehmenden Gewässerverschmutzung bemerkbar machten. Es konnte nicht ausbleiben, daß die Öffentlichkeit diese Erscheinung mit Vorrang der Chemischen Industrie als dem Hauptwassernutzer anlastete. Die vielfach rein emotional und oft nur am Phänomen der Verunreinigung orientierte Diskussion führte jedoch zu einem branchenbezogenen Rechtfertigungsprozeß, der zwar viel zur Versachlichung des Problems beitrug, im übrigen aber die möglichen Schadwirkungen von Chemieabwässern b e w u ß t r e l a t i v i e r t e.

Einige Zitate seien hier pars pro toto wiedergegeben: "... unter Abwasser (wird) vom Laien sehr oft etwas ganz Falsches verstanden, nämlich etwas in jedem Falle Ungesundes, Giftiges und Schädliches, das beseitigt werden muß. ..... Oft ist gebrauchtes Wasser reiner und besser als das Rohwasser, aus dem es stammt. Denken wir z. B. an ein durch Belüftung, Enteisenung, Entmanganung, Chlorung und Filterung aufbereitetes Trinkwasser, das nur zum Kühlen oder zum Betrieb von hydraulischen Apparaten benutzt wurde. Rund 80 v. H. des von der Chemischen Großindustrie benutzten Brauchwassers werden z. B. nur als Kühlwasser benutzt. Natürlich gibt es auch Abwasser, auf das die obigen Attribute mit Recht angewandt werden. Zu ihnen gehören in erster Linie alle fäulnisfähigen und pathogene Keime enthaltenden gebrauchten Wasser, als deren Prototyp die kommunalen Abwasser genannt seien"[89].

An anderer Stelle fordert der Autor, daß vor der Isolierung bestimmter Schadstoffe im betrieblichen Abwasser die diesbezügliche Vorbelastung des natürlichen Vorfluters zu beachten sei, wodurch sich in bestimmten Fällen der Zwang zur Abwasserreinigung aufhebe: So erübrige sich z. B. die Klärung des Abwassers von Schwebstoffen, wenn hierdurch der Schwebstoffgehalt des Vorfluters nur unwesentlich beeinflußt würde; denn "die

89) Wurzschmitt, Bernhard: Wie können wir die Abwässer reinigen? In: Wasserwirtschaft. Beilage zu Der Volkswirt, Nr. 18 v. 7.5.1955, S. 33

Beschaffenheit des Vorfluters ist .... als völlig gleich zu bezeichnen, ob er nun einen Schwebestoffgehalt von 100,0; 100,7 oder 101,0 aufweist. Die Forderung einer Reduktion von 75 mg auf (wasserrechtlich oft geforderte, Anm. d. Verf.) 50 mg/Ltr. und die Erstellung und der Betrieb einer Kläranlage zu diesem Zweck, wäre daher einwandfrei als Fehlinvestition zu betrachten, wenn auch die so beliebt und modern gewordene Umrechnung auf große Zahlen eine Schwebestoffmenge von rund 100 t pro Tag ergibt ..... Dieselben Überlegungen ergeben sich in bezug auf kleine Mengen gelöster Salze, Säuren oder Laugen" [90].

Derartige Überlegungen sind schon deswegen nicht vertretbar bzw. verleiten zu Fehlinterpretationen, weil sie die realen Abflußverhältnisse für chemiebetriebliche Abwässer nicht berücksichtigen. So vermischen sich die aus den Werkskanälen der BASF dem Vorfluter zugeführten Abwässer durchaus nicht unmittelbar und vollständig mit der g e s a m t e n Rheinwasserführung des jeweiligen Uferabschnitts. Vielmehr werden sie mit der natürlichen Flußströmung zunächst überwiegend laminar fortgeführt, so daß zu ihrer örtlichen Verdünnung nur ein schmaler Wasserstreifen zur Verfügung steht. Entsprechende Belastungsspitzen des Ludwigshafener gegenüber dem Mannheimer Rheinufer sind durch Flußwasseruntersuchungen der Stadt Mannheim regelmäßig nachgewiesen worden. Die Raumwirksamkeit chemiebetrieblicher Abwässer beginnt nicht erst nach ihrer - übrigens mehrere km in Anspruch nehmenden - turbulenten Vermischung mit der gesamten Flußwasserführung, sondern bereits unmittelbar an der Einleitungsstelle.

Aber ganz abgesehen davon: Während in der von uns mit "ausgeprägter Vernachlässigung des Abwasserproblems" apostrophierten Periode ein Zwang zur Abwasserreinigung wegen des günstigen Wasserführung/Vorbelastung/Abwasserlast-Verhältnisses nicht gegeben schien, sollen nunmehr derartige Anstrengungen einfach deswegen unterbleiben, weil der Vorfluter ohnehin schon stark belastet ist.

---

90) Wurzschmitt, Bernhard: Wie können wir die Abwässer reinigen? a.a.O., S. 34

Spricht diese Form der verkehrten Logik bereits für sich, so stimmt es weit bedenklicher, wenn die Notwendigkeit zum Gewässerschutz vom Grad betriebswirtschaftlicher Zweckmäßigkeit abhängig gemacht werden soll: "Eine Abwasseraufbereitung ist unmöglich und kann dann auch nicht gesetzlich vorgeschrieben werden, wenn dafür kein Verfahren bekanntund trotz Forschung auch noch nicht gefunden ist. .... Die Kosten der gesamten Aufbereitung müssen wirtschaftlich tragbar sein, d.h. sie dürfen die Fabrikation nicht so belasten, daß der Gestehungspreis wirtschaftlich untragbar wird" [91].

Ist es auch verständlich und in verkehrswirtschaftlich organisierten Gesellschaftssystemen sogar legitim, derartige Forderungen zu erheben, so darf doch nicht übersehen werden, daß zwischen den Fragen einer optimalen Kapitalverzinsung und denen des Landschaftsschutzes grundsätzliche Inkommensurabilität besteht, so daß hier nur aufgrund von gesellschaftlich gesetzten Prioritäten entschieden werden kann. "Unsere Gewässer müssen im hochindustrialisierten Lebensraum auch den Brauchwasserentnahmen für die Industrie und der Ableitung industrieller und häuslicher Abwässer durch Gemeinden und Industriebetriebe .... dienen", [92] auch, aber nicht nur. Innerhalb der Nutzungsmöglichkeiten von Oberflächengewässern kommt der Kategorie "Vorflut für Chemieabwässer" nur die Bedeutung einer Nutzungsart unter vielen zu, wobei sich das Spektrum der Hauptnutzungsarten wie folgt umreißen läßt:

1. Trinkwasserversorgung und Abwasserbeseitigung der Städte und Gemeinden,
2. Brauchwasserversorgung und Abwasserbeseitigung der Industrie,
3. Versorgung der Landwirtschaft,
4. Ausübung der Fischerei,

---

91) Wurzschmitt, Bernhard: Die Industrie und das Abwasserproblem. In: Verband der Chemischen Industrie e.V., Frankfurt a.M. (Hrsg.): Wasserprobleme ? Diskussionsbeiträge aus dem Gebiet der Wasserwirtschaft und des Wasserrechts. Folge 2. o.O. 1956, S. 13

92) Teske, Wolfgang: Abwasserreinigung in der chemischen Industrie als technische und wirtschaftliche Integrationsaufgabe. In: Wasser, Luft und Betrieb. 12. Jg., Nr. 3/1968, S. 135

5. Gütertransport durch die Schiffahrt,
6. Betrieb von Wärmekraftanlagen und - last not least -
7. Nutzung als Erholungsstätte der Bevölkerung.

Inzwischen hat sich in der Diskussion um die Behandlungswürdigkeit von Chemieabwässern eine realistischere Haltung durchgesetzt. Mit Inkrafttreten des Wasserhaushaltsgesetzes und der zwischenzeitlich ergangenen Landeswassergesetze wurde auch bei allen Chemischen Großbetrieben ein Prozeß des Überdenkens der jeweiligen abwassertechnischen Situation ausgelöst, dessen Ergebnis sich zumeist - wie bei der BASF - in dem Satz zusammenfassen ließ: "Dieses praktizierte System entspricht nicht mehr den heutigen Anforderungen an eine Abwasserreinigung" [93].

Für die Folgezeit wurden grundsätzliche Umstellungsmaßnahmen erforderlich. Sie setzten sich zum Ziel, durch Verminderung der betriebsindividuellen Abwasserlast einen Beitrag zur Wiedererlangung der Selbstreinigungskraft des örtlichen Vorfluters zu leisten. Abwasserbezogene Standortgunst von Chemiebetrieben soll sich nicht mehr in einer Degradierung von Flußläufen zu reinen Werkskanälen äußern. Sie soll vielmehr verantwortungsbewußte Nutzung einer natürlichen Standortressource sein, die sich zwar am Partikularinteresse des jeweiligen Betriebes zu orientieren hat, damit aber nicht gleichzeitig die übrigen, an anderer Stelle bereits skizzierten Einsatzmöglichkeiten von Oberflächenwasser grundsätzlich ausschließt.

Vor Würdigung des BASF-Anteils an der Gewässerverschmutzung im Rhein-Neckar-Raum soll zunächst ganz allgemein die Wirkung von Chemieabwässern auf natürliche Vorfluter am Beispiel definierter Bestandteile und Temperaturen erörtert werden.

Von zentraler Bedeutung sind hier die sauerstoffzehrenden Eigenschaften des jeweiligen Abwassers[94]. Gelöste und kolloide organische

---

93) Engelhardt, H. und Haltrich, W.: Vorarbeiten für die Gemeinschaftskläranlage der BASF und der Stadt Ludwigshafen am Rhein, a.a.O., S. 275

94) Vgl. hierzu u.a. auch Meinck, F., Stooff, H. und Kohlschütter, H.: Industrie-Abwässer, a.a.O., S. 3 ff.

Bestandteile benötigen zu ihrem biochemischen Abbau bestimmte Sauerstoffmengen (BSB!). Reicht der Sauerstoffgehalt des Gewässers hierzu nicht aus, vollzieht sich dieser Vorgang "anaerob", d.h. lediglich durch bakterielle Reduktion unter Freisetzung von Kohlensäure, Stickstoff, Schwefelwasserstoff, Ammoniak und anderen Spaltprodukten.

Fett- und ölartige Stoffe im Abwasser sind zwar auch an chemischen Reaktionen mit gelöstem Sauerstoff beteiligt; ihre besondere Gefährlichkeit geht jedoch von der bereits bei geringem Mengenanfall zu beobachtenden Film- und Schichtenbildung aus, die eine Sauerstoffaufnahme des Vorfluters aus der Atmosphäre verhindert.

Gelöste anorganische Bestandteile entziehen sich biochemischen Klärprozessen. Ihre Einleitung in den Vorfluter löst bei unterschiedlichem Konzentrations- und pH-Wert-Niveau rein chemische Umsetzungen aus, die z.B. bei Fällungen zwangsläufig mit Schlammablagerungen im Flußbett verbunden sind und bei Alkali- und Erdalkalisalzen in gelöster Form zu der bekannten Versalzung des Wasserlaufs beitragen.

Die Gefahr der Schlammablagerung spricht auch gegen die Einleitung ungelöster Abwasserbestandteile, nur daß bei organischen Sinkstoffen noch Sauerstoffzehrung und Faulprozesse hinzukommen einschließlich der bereits geschilderten Freisetzung von Abbauprodukten infolge bakterieller Reduktion.

Hervorzuheben sind auch die unmittelbar zu biologischer Verödung führenden toxischen Abwasserbestandteile. Hierzu zählen insbesondere die Schwermetallsalze des Chroms, Kupfers, Nickels, Zinks, Cadmiums und Eisens, aber auch die Phenole, Cyanide und Nitrite.

Schließlich darf die mit der Einleitung von Kühlwasser verbundene Temperaturbelastung des Vorfluters nicht unerwähnt bleiben. Lokale Erwärmung fördert in der Regel das Wasserpflanzenwachstum und damit die Eutrophierung bzw. Verkrautung des Gewässers. Phosphate und Nitrate im Abwasser unterstützen diesen Vorgang als "Quasidünger". Andererseits kommt es zu einer temperaturabhängigen Verminderung des Sauerstoffgehalts, was wiederum das Mißverhältnis zum Bestand an bio-

logisch abbaubarer Substanz im Oberflächengewässer nur noch verstärkt. Wegen dieser Wirkungen hat der Gesetzgeber das Kühlwasser ebenfalls zu einer auflagengebundenen Abwasserkategorie erklärt und seine Einleitungstemperatur auf 30°C begrenzt.

Aus den dargestellten Partialwirkungen einzelner Abwasserbestandteile läßt sich die Raumwirksamkeit von ungeklärten bzw. nur z. T. vorbehandelten Chemieabwässern entnehmen: Sie besteht in einem direkten Eingriff in eine Lebensgemeinschaft von Wasserorganismen (Biocoenose), die mit ihren Stoffwechselprozessen die natürliche Selbstreinigungskraft eines Gewässers aufrechterhalten. Wird dieses Gleichgewicht gestört, setzen nicht nur biologische Verödungsprozesse ein, wie sie im Fischsterben wohl am vordergründigsten in Erscheinung treten, sondern es können gleichzeitig Giftstoffe und pathogene Keime in das Grundwasser gelangen und so über die Trinkwasserversorgung die menschliche Gesundheit unmittelbar gefährden.

Der Versuch, den Anteil der BASF an der Flußwasserverschmutzung im Rhein-Neckar-Gebiet zu bestimmen, muß mit sehr vielen Unsicherheitsfaktoren unternommen werden. Das beginnt bereits bei der Ermittlung der Vorbelastung von Rhein und Neckar, für die allein der Hinweis auf die Wassergüteklasse III noch keine quantitative Aussage gestattet.

Es war daher notwendig, auf Ergebnisse der von der Stadt Mannheim 3 - 4 mal im Jahr durchgeführten Rheinwasseruntersuchungen zurückzugreifen. Die entsprechenden Analysenwerte geben die Sauerstoffzehrung nach 5 Tagen in mg/l an (BSB_5) und entstammen jeweils 3 gemittelten Einzelproben im Flußwasserquerschnitt (links, Mitte, rechts) bei Rhein-km 412. Es versteht sich von selbst, daß diese wenigen Werte eine zu schmale Basis darstellen, um mit ihnen den Rheinwasserzustand oberhalb Mannheims für ein ganzes Jahr hinreichend zu charakterisieren. Mit ihrer Bezugnahme auf die gesamte Flußwasserführung täuschen sie zudem eine homogene Wassergüte im Horizontal- und Vertikalprofil vor, die für natürliche Flußläufe durchaus nicht gegeben ist.

Für den Neckar waren selbst derartige Angaben nicht zu erhalten, weil

im Jahre 1969 bei den jeweiligen Proben der BSB_5 höher lag als das ursprüngliche Sauerstoffangebot. Der zusätzliche Sauerstoffbedarf hätte sich hier nur nach der von der Abwasseranalytik bekannten Methode der künstlichen Anreicherung mit sauerstoffhaltigem Wasser bestimmen lassen. Das lag aber nicht im Rahmen der Mannheimer Untersuchungen. Immerhin ist den Ergebnissen soviel zu entnehmen, daß der Neckar im Verhältnis zum Rhein als noch stärker belastet anzusehen ist. Um überhaupt erst eine Vorstellung von der Vorbelastung durch den Neckar zu gewinnen, wurde daher die mittlere Flußwasserführung[95] mit einigen in den Jahren 1965 und 1966 noch bestimmbaren BSB_5-Werten[96] in Beziehung gesetzt und - wie im Falle des Rheins - in Einwohnergleichwerte (EGW) umgerechnet. Auch hier ließen sich natürlich Bedenken anmelden, sowohl hinsichtlich des zu günstigen BSB_5-Ausweises, als auch aus der Tatsache, daß der Neckar durch zahlreiche Staustufen und Schleusen keinen natürlichen und gleichmäßigen Abfluß mehr hat und wegen seiner relativ geringen Wasserführung in viel stärkerem Maße Belastungsstößen ausgesetzt ist als der Rhein. Schließlich sei noch auf die insbesondere für industrielle Abwasserlastzahlen im Zeitablauf zu beobachtende hohe Veränderungsrate hingewiesen, die eine Betrachtung auf Jahresbasis stark relativiert[97]. --- Die in Tab. 50 angestellten Berechnungen können damit keineswegs den Anspruch einer siedlungswasserwirtschaftlich exakten Analyse erheben. Andererseits hätte allein der Zeitfaktor auch deren Aussagekraft inzwischen schon wieder stark eingeschränkt. Für die vorliegende Untersuchung mag es daher genügen, wenn überhaupt erst einmal die G r ö ß e n o r d n u n g e n sichtbar werden, mit denen sich ein Chemiebetrieb, wie die BASF, an der regionalen Flußwasserverschmutzung beteiligt.

---

95) 1965: 176 m^3/s; 1966: 175 m^3/s (Pegel Rockenau, 61 km vor der Mündung in den Rhein). Der Zufluß bis zur Mündung beträgt im Jahresmittel nur rd. 1 m^3/s und ist damit vernachlässigbar klein.

96) 4 - 5 km vor der Mündung in den Rhein; 1965: 9,47 mg/l (Febr.) und 6,22 mg/l (Mai); an den Probeentnahmetagen im August und November lagen die Zehrungswerte über dem Angebot; 1966: 9,05 mg/l (März), 7,85 mg/l (Mai) und 5,5 mg/l (Nov.). -- Die Tab. 50 zugrundegelegten BSB_5-Werte des Rheinwassers aus dem Jahre 1969 betragen 2,16 mg/l (März), 3,23 mg/l (Aug.) und 2,96 mg/l (Nov.) bei entsprechenden Abflußverhältnissen von 1670 m^3/s, 962 m^3/s und 845 m^3/s.

97) So z. B. für die BASF (in Mio. EGW) 1965: 1,9; 1968: 3,2 und 1969: 1,8.

ANTEIL DER BASF AN DER ZUSÄTZLICHEN BELASTUNG DES RHEINS MIT BSB_5-EINWOHNERGLEICHWERTEN IM RHEIN-NECKAR-RAUM

	Strom-km	Einwohner	%	Industrie (EGW)	%	Flußwasser (EGW)	Summe (EGW)	%
1. Vorbelastung:[98]								
Rhein, oberhalb Mannheim	412,0	-	-	-	-	4 900 000	4 900 000	-
Neckar, 4 - 5 km vor der Rheinmündung		-	-	-	-	1 070 000	1 070 000	-
Summe						5 970 000	5 970 000	-
2. Zusätzliche Belastung:								
Stadt Ludwigshafen[99]	424,7	175 000	4,3	140 000	3,4	-	315 000	7,7
BASF[99]	426,2 431,5	-	-	1 800 000	44,4	-	1 800 000	44,4
Stadt Mannheim[99]	429,3	326 000	8,0	500 000	12,3	-	826 000	20,3
Erdölraffinerie Mannheim[100]	430,5	-	-	250 000	6,1	-	250 000	6,1
Zellstoff Waldhof[100]	431,8	-	-	800 000	19,7	-	800 000	19,7
Stadt Frankenthal[101]	432,8	38 000	0,9	36 000	0,9	-	74 000	1,8
Summe		539 000	13,2	3 526 000	86,8	-	4 065 000	100,0
3. Erhöhung der Belastung: (in % der Vorbelastung)		-	9,0	-	59,1	-	-	68,1
davon: BASF								30,2

3.3 Möglichkeiten und Grenzen der chemiebetrieblichen Abwasserreinigung

3.31 Herkömmliche Reinigungsverfahren

Das Bild einer umweltbelastenden Chemischen Industrie muß solange unvollständig bleiben, bis nicht gleichzeitig die bisherigen Bemühungen dieses Industriezweiges um Senkung der betriebsindividuellen Abwasserlast zur Sprache gekommen sind. Denn es gilt bereits jetzt festzuhalten, daß die Gewässerverunreinigung nicht etwa wegen völlig unterbliebener, sondern trotz z.T. umfangreicher Klärmaßnahmen das gegenwärtige Ausmaß angenommen hat. Abgesehen von der bereits erwähnten Periode klärtechnischer Abstinenz orientierten sich diese Maßnahmen allerdings nur an der Schadwirkung einzelner Verunreinigungsmerkmale. Sie blieben bis in die jüngste Vergangenheit - für die BASF sogar bis heute - überwiegend auf die Anwendung mechanischer und chemischer Methoden beschränkt und sollen insofern zusammenfassend als 'herkömmliche Reinigungsverfahren' bezeichnet werden. Die im einzelnen noch darzustellende Begrenztheit ihres Kläreffekts gegenüber bestimmten Abwasserbestandteilen läßt sie zwar für eine grundsätzliche Lösung des Abwasserproblems nur partiell geeignet erscheinen. Das schließt

---

98) Berechnet nach schriftlichen und mündlichen Auskünften des Chemischen Untersuchungsamtes der Stadt Mannheim; für den Rhein: Stand 1969, für den Neckar: Stand 1965/66 (vgl. hierzu die Anmerkungen im lfd. Text!)

99) Lt. schriftlichen bzw. mündlichen Auskünften der jeweiligen Abwassereinleiter (Stand: 1969).

100) Lt. schriftlichen Auskünften des Chemischen Untersuchungsamtes der Stadt Mannheim Stand 1969; in Verbindung mit: Arbeitsgemeinschaft der Länder zur Reinhaltung des Rheins (Hrsg.): Die Verunreinigung des Rheins und seiner wichtigsten Nebenflüsse in der Bundesrepublik Deutschland. Stand Ende 1965, a.a.O., Anlage 8.2.1.

101) Stand Ende 1965; vgl. Arbeitsgemeinschaft der Länder zur Reinhaltung des Rheins (Hrsg.): a.a.O., Anlage 8.2.1.

aber nicht aus, daß ihnen auch künftig noch eine große Bedeutung zukommt.

Gewässerverunreinigung äußert sich u.a. in erhöhter Schwebstofffracht und dem Bestand an mit Petroläther extrahierbaren Stoffen. Der chemiebetrieblichen Abwasserreinigung fällt dabei zunächst die Aufgabe zu, durch mechanische Behandlungsmethoden die im Wasser unlöslichen und spezifisch schwereren bzw. leichteren Substanzen aus dem Abwasser zu isolieren und damit dem örtlichen Vorfluter fernzuhalten. Die Sedimentation von Feststoffen vollzieht sich in Absetzanlagen (Abb. 51), während aufschwimmbare Stoffe, wie z.B. Öle, Fette und Lösungsmittel einschließlich der in ihnen löslichen Bestandteile in Leichtstoffabscheidern zurückgehalten werden. Um den Wirkungsgrad derartiger Anlagen zu erhöhen, werden sie einem relativ geringen Abwasseranfall

ABSETZBECKEN

Abb. 51

ausgesetzt und den einzelnen Betriebsteilen eines Chemiewerkes direkt zugeordnet. Gleichzeitig erklärt sich damit ihr sehr zahlreicher - für die BASF mit mehr als 200 Stück zu beziffernde - Einsatz[102]. Feinst suspendierte bzw. kolloid-dispers verteilte Feststoffe entziehen sich jedoch einfachen Absetzvorgängen. Eine Sedimentation auch dieser Abwasserbestandteile läßt sich meist erst nach einer pH-Wert-Korrektur und/oder Zugabe von Flockungschemikalien, wie z.B. Eisen-III- und Aluminiumsalzen sowie synthetischen Präparaten auf organisch-chemischer Basis erreichen. Die Reinigung von Abwässern aus Abortanlagen, Bädern und Sozialräumen vollzieht sich bei mechanischer Verfahrensweise - wie z.Zt. noch bei der BASF - durch Absetzen und Ausfaulen in 3-Kammergruben.

Allen diesen mechanischen Klärmaßnahmen ist der Anfall von Sink- und Schwimmschlämmen gemeinsam, für deren Entwässerung und Verbrennung bzw. Deponie der Chemiebetrieb ebenfalls Sorge tragen muß. Gleichzeitig werden aber damit abfallwirtschaftliche Probleme nachgeschalteter Reinigungsstufen angesprochen, auf die an anderer Stelle ohnehin noch einzugehen sein wird. Entsprechendes gilt auch für die Behandlung leichtflüchtiger Bestandteile im Abwasser, wie z.B. Schwefelwasserstoff, Ammoniak und Merkaptane: Das Ausdämpfen ("Strippen") dieser stark riechenden und schädlichen Substanzen schafft aus dem Abwasserproblem ein Abluftproblem, falls nicht ihre anschließende Verbrennung, wie z.B. das "Abfackeln", auch diese Wirkung unterbinden hilft.

Außer zur Unterstützung von Absetzvorgängen werden Chemikalien vornehmlich zur Neutralisation saurer oder alkalischer Abwässer sowie zu deren Entgiftung von bestimmten Metallsalzen und anderen Substanzen eingesetzt. Dabei ist zu beachten, daß mit der Neutralisation nicht ausschließlich positive Wirkungen auf den örtlichen Vorfluter verbunden sind. Vielmehr erhöht sich mit dem Anfall von Salzlösungen partiell auch dessen Salzgehalt - ein Problem, auf das bereits an anderer Stelle hingewiesen wurde. Im Vertrauen auf den hohen Verdünnungsgrad eines wasser-

---

102) Zu konstruktiven Einzelheiten und ihren Wirkungsmechanismen vgl. Meinck, F., Stooff, H. und Kohlschütter, H., a.a.O., S. 80 ff.

reichen Vorfluters unterbleiben jedoch meistens derartige Neutralisationsbemühungen, so daß sie sich im Gewässer selbst vollziehen. Kommt es dabei zu Ausfällungen, kann Verstopfung der Gewässersohle und damit fortschreitende Herabsetzung der gewinnbaren Menge an uferfiltrierten Grundwassers die Folge sein. Derartige neutralisationsbedingte Ausfällungen können natürlich auch innerhalb des Kanalnetzes eines nach dem Mischsystem entwässernden Chemiebetriebes eintreten und zu Querschnittsverengungen und damit Ableitungsschwierigkeiten führen.

Mit der Abwasserentgiftung soll der Gehalt an biologisch-toxisch wirkenden Bestandteilen auf ein in umwelthygienischer Hinsicht unbedenkliches Maß gesenkt werden. Einen Anhaltspunkt für den Grad der Giftigkeit geben sowohl die vom United States Public Health Service (USPHS) und der Weltgesundheitsorganisation (WGO) aufgestellten Grenzwerte dieser Stoffe im Trinkwasser als auch die von den Wasseraufsichtsbehörden der Bundesrepublik geforderten Endkonzentrationen im gewerblichen Abwasser. Tab. 52 enthält die entsprechenden Daten für Chrom, Cyanide und Phenole.

GRENZWERTE DER NOCH ZULÄSSIGEN KONZENTRATIONEN FÜR GIFTSTOFFE IM TRINKWASSER UND GEWERBLICHEN ABWASSER

(mg/l)

	Trinkwasser		Gewerbliches Abwasser	
	USPHS[103]	WGO[104]	Galvanisierbetriebe[105]	BASF[106]
Gesamt-Chrom (Cr)	0,05	0,05	2,0	Grundsätzliches Verbot der Ableitung; nur "Spurenwerte" zulässig.
Cyanide (Cn)	0,01	0,01	0,1	
Phenole (C_6H_5OH)	0,001	0,001	-	

Tab. 52

103) Meinck, F.; Stooff, H. und Kohlschütter, H., a.a.O., S. 16

104) Kruse, Heinrich: Einheitliche Anforderungen an die Trinkwasserbeschaffenheit und Untersuchungsverfahren in Europa. Vorschlag einer

Die Erfüllung dieser Auflagen macht den Einsatz von Oxidations- und Reduktionsmitteln sowie von Säuren, Laugen, Lösungsmitteln und anderen Aufbereitungschemikalien notwendig, dem andererseits ein z.T. erheblicher apparativer Aufwand zur Seite gestellt werden muß. So erfolgt die Entgiftung der chromsauren- bzw. cyanid- oder phenolhaltigen Abwässer durch Reduktion des 6-wertigen Chroms in das 3-wertige Chrom bzw. durch Oxidation des Cyanids in Cyanat. In beiden Fällen hat sich noch die Neutralisation zum ausfällbaren Hydroxid anzuschließen. Dagegen setzen sich Entphenolungsanlagen in Großbetrieben zumeist die Rückgewinnung des Phenols zum Ziel. Sie arbeiten in herkömmlicher Weise auf der Basis von Extraktions-, Ausdämpf- und Adsorptionsverfahren. Wegen ihres nur begrenzten Klareffekts sind sie allerdings vielfach noch mit Phenolvernichtungsverfahren kombiniert.

Mit diesen mechanischen und chemischen Teilreinigungsverfahren erschöpfen sich bereits die traditionellen Möglichkeiten zur abwassertechnischen Sanierung von Chemiebetrieben. Große Teile der echt bzw. kolloid gelösten anorganischen und vor allem organischen Bestandteile sowie der nichtabsetzbaren Schwebstoffe entziehen sich weitgehend diesen Behandlungsmethoden. Sie werden mit dem betrieblichen Abwasser nach wie vor dem örtlichen Vorfluter zugeführt und erhöhen dessen Verschmutzungsgrad. Die hohen Abwasserlastkennziffern der BASF werden damit verständlich.

---

vom europäischen Büro der Weltgesundheitsorganisation einberufenen Studiengruppe. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene. Heft 14a. Stuttgart 1960, S. 23 und 28. Vgl. hierzu auch Deutscher Verein von Gas- und Wasserfachmännern (DVGW) (Hrsg.): Leitsätze für die Trinkwasserversorgung. DIN 2000. Fassung Mai 1959

105) Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA)(Hrsg.): Normalanforderungen für Abwasserreinigungsverfahren, a.a.O., S. 21

106) Wasserrechtlicher Bescheid der Bezirksregierung der Pfalz, Neustadt a.d.Wstr. v. 25.9.1964 (Tab. 53)

3.32 Rationalisierung der Abwasserreinigung

3.321 Überblick

Die grundsätzliche Verbesserung der chemiebetrieblichen Abwasserverhältnisse hat sich zunächst an den begrenzten Kläreffekten der herkömmlichen Reinigungsverfahren zu orientieren, denn: für einen abwassertechnisch traditionell ausgerichteten Chemiegroßbetrieb sind es weniger die petrolätherextrahierbaren, toxischen und sedimentierbaren Verunreinigungen, die heute das Ausmaß "seines" Abwasserproblems bestimmen, sondern die bisher noch nicht isolierten gelöst-organischen und -anorganischen Bestandteile mit ihren sauerstoffzehrenden bzw. den Salzgehalt des Vorfluters erhöhenden Eigenschaften. Die Reduzierung ihrer Abwasserkonzentration auf vertretbare Grenzwerte ist aber nicht nur ein allgemeines Anliegen der Umwelthygiene sondern zugleich auch ein von den Wasseraufsichtsbehörden - z.T. mit zeitlichem Aufschub - zwingend vorgeschriebenes Richtmaß (Tab. 53).

Sollte das betriebswirtschaftliche Kalkül die Beibehaltung von Leistungsprogramm und Standort nahelegen, wird allerdings das Branchenspezifikum der naturgesetzlich-determinierten Verbundproduktion den Rahmen möglicher Rationalisierungsbestrebungen erheblich einengen. So ist eine diesbezügliche abwassertechnische Dispositionsfähigkeit für Chemiegroßbetriebe z.Zt. eigentlich nur in 3-facher Weise denkbar:

1. Die aus dem betrieblichen Abwasser isolierten Schadstoffe werden nicht mehr dem örtlichen Vorfluter zugeführt, sondern in Regionen verbracht, für die der Umweltbelastungseffekt vergleichsweise geringer einzustufen ist.
2. Durch Änderung der verfahrenstechnischen Grundlage bei der Produktion bestimmter Erzeugnisse läßt sich eine Verminderung der Abwassermenge und dessen Verschmutzungsgrad erreichen.
3. Wegen der zunehmenden Bedeutung organisch-gelöster Substanzen im Chemieabwasser kann der Kreis der traditionellen Industrie-Klärtechniken um biologische Behandlungsmethoden erwei-

WASSERRECHTLICHER BESCHEID DER BEZIRKSREGIERUNG DER PFALZ ZUR ABWASSEREINLEITUNG DER BASF IN DEN RHEIN VOM 25. 9. 1964

(Stichwortartige Zusammenfassung der wesentlichsten Auflagen)

1. Rechtsgrundlage: §§ 5, 15, 17 WHG und §§ 136, 138, 20, 100, 101 und 102 LWG Rheinland-Pfalz; Übergangsregelung bis zu der (im Zusammenhang mit der Gemeinschaftskläranlage) in Aussicht gestellten Bewilligung gemäß § 8 WHG.

2. Allgemeine Verpflichtung zur Verbesserung der Abwasserbeschaffenheit[x].

3. Richtwerte für die Abwasserbeschaffenheit:

Toxische Stoffe (insbesondere Phenole, Blausäure, Schwefelwasserstoff oder ihre Verbindungen):	grundsätzliches Einleitungsverbot.
Petrolätherextrahierbare Stoffe:	≤ 5 mg/l Zuwachs in Einzelproben gegenüber dem Rheinwasser
Abwassertemperatur:	≤ 30 °C am Einlauf in den Rhein
Schwimmstoffe:	Grundsätzliches Einleitungsverbot
Absetzbare Stoffe:	≤ 0,3 ml/l (Einzelprobe)[x] ≤ 0,2 ml/l (Tagesdurchschnitt)[x]
pH-Wert:	6 - 8,5[x] 6 für Einzelprobe anzustrebendes Ziel[x]
Gelöste anorganische Salze:	≤ 500 mg/l Zuwachs im Tagesdurchschnitt gegenüber dem Rheinwasser[x]

4. Vermeiden von Abwasserbelastungsstößen[x].

5. Installierung und Betreiben selbstregistrierender Meßinstrumente für Abflußmenge, Temperatur und pH-Wert in den Einleitungsanlagen; darüber hinaus Verpflichtung zur Abwasseranalyse durch - wöchentlich abwechselnd - tägliche Einzelproben oder Mischproben über jeweils 24 Std.

5. Schutzvorschriften gegen Beeinträchtigungen der Wasserstraße bzw. der Schiffahrt.

6. Schaffung baulicher Voraussetzungen zur jederzeitigen Kontrollmöglichkeit der Einleitungsanlagen sowie der Abwasserbeschaffenheit durch Beauftragte der Wasserbehörden.

x) Verpflichtung, für die jährlich zum 31.12. ein Erfüllungsnachweis verlangt wird.

Tab. 53

tert werden.

Der inhaltlichen Konkretisierung abwasserbezogener Rationalisierungsbestrebungen im Chemiebetrieb sei daher als Gliederungsgesichtspunkt diese 3-Teilung zugrundegelegt.

3.322 Entlastung des örtlichen Vorfluters durch Transport von Schadstoffen in das offene Meer

Von der Belastung natürlicher Wasserläufe mit anorganischen Verbindungen aus gewerblichen Abwässern hat die "Salzfracht" des Rheins zweifellos die größte Publizität erfahren. Sie wird zumeist in Chlorid-Ionen ausgedrückt und beträgt nach Untersuchungen der "Internationalen Kommission zum Schutze des Rheins gegen Verunreinigungen" an der deutsch-niederländischen Grenze im jährlichen Mittel (1965) rd. 30 000 t pro Tag[107]. Wenn auch diese Angaben nur im Zusammenhang mit der reichlichen Wasserführung des Rheins gesehen werden dürfen - die Gefahr, der Magie einer "Tonnenideologie" zu erliegen, ist zu offenkundig - so gebietet doch allein schon die spezifische Interessenlage eines - wie Holland - weitgehend auf Oberflächenwasser angewiesenen Landes, daß die Bemühungen um Reduzierung der gewerblichen Abwasserlast auch auf die anorganischen Verunreinigungskomponenten auszudehnen sind.

Soweit es sich um die Chloridionenfracht aus gelösten Erdalkali (Mg)- und Alkali (Na, K)-Salzen handelt, entstammt sie überwiegend den Schachtwässern, Endlaugen und Waschwässern der elsässischen Kaliindustrie[108]. Versuche mit der Aufhaldung von Abfallstoffen bei finanziell

---

107) Vgl. Arbeitsgemeinschaft der Länder zur Reinhaltung des Rheins (Hrsg.): Die Verunreinigung des Rheins und seiner wichtigsten Nebenflüsse in der Bundesrepublik Deutschland, a.a.O., Textheft, S. 20

108) Die "Internationale Kommission ..." schlüsselt die Belastungsanteile der gewerblichen Einleiter wie folgt auf: 41 % Elsässische Kaligruben, 26 % Soda- und sonstige Industrien, 17 % Deutscher Steinkohlenbergbau, 13 % Industrien an Mosel und Saar und 3 % verschie

Beteiligung der unmittelbar betroffenen Länder Frankreich, Bundesrepublik Deutschland und Holland sollen hier wirksame Abhilfe schaffen; der Erfolg bleibt abzuwarten.

Ein nicht unerheblicher Teil der Salzzuführungen entfällt auch auf die Chemische Industrie, nur ist bislang kein generelles Abwasserentsalzungsverfahren bekannt geworden, das zugleich der chemieindustriellen Forderung nach wirtschaftlicher Vertretbarkeit entspricht. Aber selbst bei Lösung dieses Problems bleibt immer noch die branchenspezifische Belastung der örtlichen Vorfluter mit anorganischen Abfallsäuren bestehen. Sie fallen in großen Mengen, überwiegend als ca. 20 %ige Schwefelsäure an und werden mit ihrer Einleitung in natürliche Gewässer dortselbst entweder zu Gipsschlamm oder zu Salzlösungen neutralisiert. Auch hier haben zweifellos der hohe Aufbereitungs- bzw. Rückgewinnungsaufwand und/oder die geringe Verwendungsmöglichkeit von Dünnsäuren für mindere Zwecke ihre einfache Ableitung als Prozeßabwasser begünstigt.

Vor diesem Hintergrund wird es verständlich, wenn Wasseraufsichtsbehörden der Bundesrepublik in jüngster Zeit darauf dringen, daß Chemische Großbetriebe ihre Abfallsäuren nicht mehr dem örtlichen Vorfluter zuführen, sondern in das offene Meer verbringen. So haben in Nordrhein-Westfalen drei Chemieunternehmen mit einer Reederei einen Transportvertrag mit 13jähriger Laufzeit zur Verschiffung ihrer Dünnsäuren via Rotterdam in vorgeschriebene Seegebiete abgeschlossen. Um welche Größenordnungen es sich dabei handelt, geht aus Tab. 54 hervor.

Der nunmehr auf die Küstengewässer Hollands verlagerte Umweltbelastungseffekt soll sich durch ein vorgeschriebenes Verdünnungsverhältnis von 1 : 5000 unmittelbar nach der Einleitung in vertretbaren Grenzen halten. Als zusätzliche Sicherung ist vorgesehen, daß die von den niederländischen Aufsichtsbehörden ausgesprochenen Genehmigungen auf jeweils 1 Jahr begrenzt bleiben. Im Zusammenhang mit der Langfristigkeit des

---

dener Herkunft, überwiegend Kommunalabwässer. Die Untersuchungsergebnisse gestatten mithin keine quantitativ exakte Aussage über die Beteiligung der Chemischen Industrie an der Salzfracht des Rheins. Vgl. Arbeitsgemeinschaft der Länder zur Reinhaltung des Rheins (Hrsg.), a.a.O., S. 20

Transportvertrages ergibt sich damit ein erhöhtes unternehmerisches Risiko. Die mit DM 9,--/t für den Transport Leverkusen - Seegebiet sowie mit weiteren DM 2,--/t für die werksinterne Sammlung der Säuren angegebenen Kosten sind weitere Hinweise auf den ökonomischen Stellenwert dieser - doch nur einen Teilaspekt der betrieblichen Abwasserreinigung betreffenden - Rationalisierungsbestrebungen.

VERSCHIFFUNG VON ABFALLSÄUREN IN DAS OFFENE MEER[109]

(jato)

	seit 1969	ab 1971	ab 1973
Farbenfabriken Bayer AG	ca. 100 000	ca. 200 000	ca. 400 000
Titangesellschaft, Leverkusen	" 200 000	" 200 000	-
Pigment-Chemie, Homberg	" 150 000	" 180 000	" 200 000
	ca. 450 000	ca. 580 000	ca. 600 000

Tab. 54

Für die BASF sind derartige, über pH-Wert-Vorschriften hinausgehende und sich spezifisch auf die Ableitung von Abfallsäuren beziehende Auflagen nicht bekannt geworden; z. T. sind es die verminderten Größenordnungen isolierbarer Abfallsäuren, die einen Seetransport nicht rechtfertigen, z. T. wird hier die Chance einer diesbezüglichen Abwasserreinigung mehr auf dem Gebiet der Verfahrenstechnik gesehen[110].

109) Vgl. Schlippenbach, Graf Stefan: Abfallsäure ins Meer - Entsalzung des Rheins. In: Technik und Forschung. 11. Jg., Nr. 48/1968, S. 164

110) 1968 wurden Planungen bekannt, nach denen die BASF im Verbund mit einer Schwefelverbrennungsanlage eine Produktionsstätte zur Aufarbeitung von täglich 200 t Abfallschwefelsäure errichten will.

3.323 Abwassertechnische Sanierung durch Verfahrensumstellung

Wenn eingangs die Chemische Technik als Inbegriff naturgesetzlich determinierter Verbundproduktion charakterisiert wurde, deren Stoffumsatz nur nach Maßgabe vorgegebener Prozeßvariablen beeinflußbar ist, so bezieht sich das notwendigerweise auch auf den Abwasseranfall nach Menge und Verschmutzungsgrad. Ein Chemiebetrieb wird daher die Verbesserung seiner abwassertechnischen Situation - unabhängig vom Einsatz spezieller Reinigungsmaßnahmen - auch durch Änderung der jeweiligen verfahrenstechnischen Grundlagen zu erreichen versuchen.

Soweit behördliche Auflagen derartige Maßnahmen nicht zwingend vorschreiben, verbleibt als traditionell entscheidendes Regulativ ihre betriebswirtschaftliche Vertretbarkeit. Auf diese, für verkehrswirtschaftlich orientierte Betriebe konstitutive Bedingung kann nicht deutlich genug hingewiesen werden, wenn vom "chemiebetrieblichen Beitrag zur Gewässerreinhaltung" die Rede ist. Produktbezogene Verfahrensumstellungen werden in der Regel vom Markt her erzwungen und setzen sich zumeist verbesserte Stoffumsatzverhältnisse einschließlich Reaktionsführung sowie erhöhte Kapazitäten zum Ziel. Die Rückgewinnung wertvoller Abwasserbestandteile und ihr wiederholter Einsatz als Prozeßkomponente bzw. ihre Weiterverarbeitung zu verkaufsfähigen Produkten führen zwar zu einer Entlastung des örtlichen Vorfluters, sind aber nichtsdestoweniger nur ein Teilausdruck der o.g. ökonomischen Überlegungen und als solche auch zu werten.

Daß wirtschaftlich begründete Verfahrensumstellungen mitunter erst Abwasserprobleme entstehen lassen, lehrt das historische Beispiel der Sodafabrikation. Die verfahrenstechnische Grundlage war hier zunächst der "trockene Schmelzprozeß" (Leblanc, 1791), der das aus Natriumchlorid und Schwefelsäure hergestellte Natriumsulfat durch Glühen mit Calciumcarbonat und Kohle in Natriumcarbonat (Soda) und Calciumsulfid umwandelte:

$$2\ NaCl + H_2SO_4 \longrightarrow Na_2SO_4 + 2\ HCl$$

$$Na_2SO_4 + 2\,C \longrightarrow Na_2S + 2\,CO_2$$

$$Na_2S + CaCO_3 \longrightarrow Na_2CO_3 + CaS$$

Abwässer fielen nicht an, dafür jedoch in größerem Umfange feste Rückstände mit den bereits an anderer Stelle erwähnten möglichen Schadwirkungen.

Die Entwicklung des rationeller arbeitenden "Ammoniaksodaprozeß" (Solvay, 1866) führte zu Preiseinbrüchen am Sodamarkt und nahm dem bisherigen Verfahren seine Konkurrenzfähigkeit. Insbesondere folgende Faktoren ließen den trockenen Schmelzprozeß für die Sodafabrikation in relativ kurzer Zeit praktisch bedeutungslos werden:

1. Die billigen bzw. großtechnisch zu erzeugenden Ausgangsprodukte Natriumchlorid (Kochsalz) bzw. Ammoniak,
2. die Rückgewinnung und der wiederholte Einsatz von Ammoniak und Kohlendioxid in das Prozeßgeschehen,
3. die Umgehungsmöglichkeit der Schwefelsäure und
4. die Sicherstellung des hohen Bedarfs der Chemischen Industrie am Leblanc-Nebenprodukt durch die aufkommende Chloralkalielektrolyse.

Der Solvayprozeß besteht im Grunde in einer Umsetzung des Ammoniumbicarbonats mit Kochsalz zum Natriumbicarbonat und Ammoniumchlorid, dem sich das Glühen ("Calcinieren") zu Soda ("calcinierte Soda") anschließt. Im einzelnen ergeben sich folgende Reaktionsgleichungen:

$$NH_3 + CO_2 + H_2O \rightleftharpoons NH_4HCO_3$$

$$NH_4HCO_3 + NaCl \longrightarrow NaHCO_3 + NH_4Cl$$

$$2\,NaHCO_3 \longrightarrow Na_2CO_3 + H_2O + CO_2$$

$$2\,NH_4Cl + Ca(OH)_2 \longrightarrow CaCl_2 + 2\,NH_3 + 2\,H_2O$$

Dem Gleichungssystem ist allerdings auch zu entnehmen, daß bei der Rückgewinnung des Ammoniaks durch Kalkmilch eine calciumchloridhaltige Endlauge anfällt, in der durch unvollständige Umsetzung des Ammo-

niumchlorids auch noch Kochsalz verbleibt. Die Analyse der mit 10 m^3 je t calc. Soda anfallenden Endlauge weist hohe Salzkonzentrationen aus (Tab. 55).

ZUSAMMENSETZUNG DER CHLORCALCIUMENDLAUGEN VON AMMONIAKSODAFABRIKEN [111)]

$CaCl_2$	85 - 95 g/l	$Mg(OH)_2$	3 - 10 g/l
NaCl	45 - 50 g/l	CaO	2 - 4 g/l
$CaCO_3$	6 - 15 g/l	$Fe_2O_3 + Al_2O_3$	1 - 3 g/l
$CaSO_4$	3 - 5 g/l	SiO_2	1 - 4 g/l

Tab. 55

Die Reinigung dieser Endlauge beschränkt sich im wesentlichen auf die Zurückhaltung der Schlämme, bestehend aus Calcium- und Magnesiumcarbonat, Gips, Eisen- und Aluminiumoxid sowie Silikaten, während die Chloride in Lösung bleiben und mit ihrer Ableitung die Chloridionenfracht des Vorfluters entsprechend erhöhen.

Läßt sich am Beispiel der Sodafabrikation nachweisen, wie die ökonomisch-technische Rationalität den Erfordernissen der Umwelthygiene im Konfliktfall und bei betrieblicher Dispositionsfreiheit nur subsidiäre Bedeutung beizumessen bereit ist, so zeigen die folgenden Verfahrensumstellungen aus dem Bereich der BASF, daß sich das Primat der Ökonomität auch in einer Verminderung der chemiebetrieblichen Abwasserlast äußern kann. Dabei sei zunächst auf den steigenden Chlorbedarf der Chemischen Industrie hingewiesen, der durch die weltweit betriebene Chloralkali (NaCl) - Elektrolyse gemäß

$$\text{Energie} + 2\,H\boxed{OH + 2\,Na}Cl \longrightarrow H_2 + 2\,NaOH + Cl_2$$

auch gedeckt werden kann.

111) Vgl. Meinck, F.; Stooff, H. und Kohlschütter, H., a.a.O., S. 246

Das Hauptanwendungsgebiet liegt hier im organisch-chemischen Bereich, indem Chlor bei der Erzeugung von Kunststoffen, Farbstoffen, Waschrohstoffen und Synthesekautschuk, von Lösungs-, Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmitteln, aber auch von Pharmazeutika eine bedeutende Rolle spielt. Bei der Chlorierung organischer Verbindungen fällt aber regelmäßig die Hälfte des eingesetzten Chlors wieder als Chlorwasserstoff bzw. Salzsäure an, wie sich aus den folgenden Beispielen der fortschreitenden Methanchlorierung und PVC-Herstellung leicht entnehmen läßt:

Methanchlorierung

CH_4	Methan
$+ Cl_2 \downarrow - HCl$	
CH_3Cl	Chlormethan: Kühlmittel, Methylisierungsmittel
$+ Cl_2 \downarrow - HCl$	
CH_2Cl_2	Dichlormethan: Lösungsmittel
$+ Cl_2 \downarrow - HCl$	
CH_3Cl_3	Trichlormethan ("Chloroform"): Lösungsmittel, Narkotikum
$+ Cl_2 \downarrow - HCl$	
CCl_4	Tetrachlormethan ("Tetra"): Lösungsmittel

Äthylenchlorierung

$$CH_2 = CH_2 \xrightarrow{+ Cl_2} ClCH_2 - CH_2Cl \xrightarrow[- HCl]{400^\circ} CH_2 = CHCl \longrightarrow \left\{ - CH_2 - \underset{Cl}{CH} - \right\}$$

1,2 Dichloräthan — Vinylchlorid — Polyvinylchlorid (PVC)

Im Gegensatz zum Chlor bestehen für das Nebenprodukt Chlorwasserstoff nicht die entsprechenden Absatzmöglichkeiten, so daß es bisher - wenn auch in verdünnter Form - dem betrieblichen Abwasser beigemischt werden mußte. Erst die Entwicklung eines Aufbereitungsverfahrens zur Konzentrierung der Abfallsäure mit anschließender Elektrolyse in Chlor

und Wasserstoff gemäß

$$\text{Energie} + 2\,HCl \longrightarrow H_2 + Cl_2$$

hat ihren erneuten Einsatz als technisches Gas bei gleichzeitiger Entlastung des Vorfluters ermöglicht.

Auch bei der Herstellung von Äthylenoxid, einem wichtigen aliphatischen Zwischenprodukt der BASF, das in mehr als 300 Verkaufsprodukte eingeht, ließen sich durch Verfahrensumstellung die Chancen eines technisch wie ökonomisch verbesserten Rohstoffeinsatzes in sinnvoller Weise mit dem Streben nach verminderten Abwasseranfall verbinden. Der Chemismus des bisherigen "Chlorhydrinverfahrens" bestand in einer alkalischen Verseifung des aus Äthylen gewonnen Äthylenchlorhydrins:

$$CH_2 = CH_2 \xrightarrow{+\,HOCl} \underset{\substack{| \\ Cl}}{CH_2} - \underset{\substack{| \\ OH}}{CH_2} \xrightarrow{+\,Ca(OH)_2} \underset{\diagdown\,O\,\diagup}{CH_2 - CH_2} + CaCl_2 + H_2O$$

Äthylen — Äthylenchlorhydrin — Äthylenoxid — Calciumchlorid

Entsprechend der beteiligten Einsatzstoffe ergab sich zwangsläufig ein sowohl spezifisch hoher als auch mit Calciumchlorid, Calciumhydroxyd sowie durch Wasseranlagerung an Äthylenoxid auch mit Äthylenglykol stark belasteter Abwasseranfall:

$$\underset{\diagdown\,O\,\diagup}{CH_2 - CH_2} + H_2O \xrightarrow{(H^+)} \underset{\substack{| \\ OH}}{CH_2} - \underset{\substack{| \\ OH}}{CH_2}$$

Äthylenoxid — Äthylenglykol

Das bereits seit vielen Jahren bekannte Verfahren der Luftoxidation des Äthylens am Silberkontakt arbeitet dagegen mit vergleichsweise sehr geringem Abwasseranfall, da Chlor und Kalk als Prozeßbeteiligte fehlen:

$$CH_2 = CH_2 + 1/2\ O_2 \xrightarrow{(Ag)} \underset{\diagdown\,O\,\diagup}{CH_2 - CH_2}$$

Äthylen — Äthylenoxid

Allerdings standen bislang diesem Verfahren sowohl in der geringeren Ausbeute als auch in den sehr aufwendigen und technisch schwierigen Be-

mühungen um quantitative Isolierung des Oxids aus den verdünnten Reaktionsgasen schwerwiegende ökonomische Hemmnisse entgegen, die erst durch die zunehmende Verbilligung des Ausgangsprodukts Äthylen infolge erhöhter Kapazitäten auf petrochemischer Basis mehr als kompensiert werden konnten. Die Werte in Tab. 56 lassen deutlich den Umfang der abwassertechnischen Verbesserung bei Verfahrenswechsel erkennen:

ABWASSERANFALL UND -ZUSAMMENSETZUNG
BEI DER ÄTHYLENOXID-HERSTELLUNG
(m^3 je t Fertigprodukt)

	Abwasseranfall	mit:
Chlorhydrinverfahren	60 m^3	2 500 kg $CaCl_2$ 275 kg $Ca(OH)_2$ 110 kg CH_2OH-CH_2OH
Katalytische Luftoxidation	0,3 m^3	10 kg $NaHCO_3$ 5 - 10 kg CH_2CHO und CH_2OH-CH_2OH

Tab. 56

Den apparativen Hintergrund zu der o.a. Reaktionsgleichung vermittelt Abb. 57.

Auch bei der Herstellung von Folgeprodukten des Cyclohexans ließen sich durch Variation der Prozeßbedingungen ähnliche abwassertechnische Erfolge erzielen. So entstehen bei der katalytischen Cyclohexanoxidation mit Luft in flüssiger Phase neben den wichtigen Zwischenprodukten Cyclohexanol und Cyclohexanon auch eine 30prozentige organische Abfallsäure, aus der nunmehr durch Oxidation mit Salpetersäure u.a. Adipinsäure, als ein Ausgangsprodukt zur Herstellung von Nylon, isoliert werden kann. Die damit bewirkte Entlastung des Vorfluters von organischer Substanz wird von der BASF mit monatlich rd. 1 500 t angegeben.

Schließlich sei noch auf die durch Verfahrenswechsel bei der Hydroxyl-

aminsynthese erzielte Verminderung der betrieblichen Abwasserlast hingewiesen. Hydroxylamin (NH_2OH), ein wichtiges Zwischenprodukt bei der Synthese von Polyamiden, wird wegen seiner Zersetzungsgefahr und Sauerstoffempfindlichkeit nur als Hydroxylammoniumsalz eingesetzt. Seine Herstellung erfolgte nach dem bisherigen Verfahren durch Einwirken von Natriumnitrit und schwefliger Säure (Röstgase)

ÄTHYLENOXID-ANLAGE

(Direktoxidation, Kapazität: 40 000 jato)

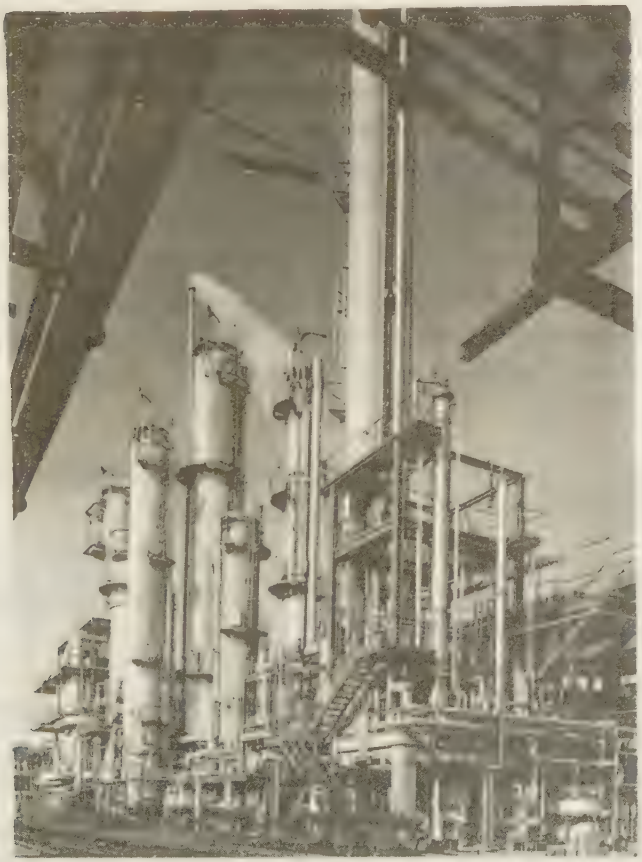


Abb. 57

auf Natriumhydrogensulfatlösung, so daß sich zunächst Natriumhydroxyamindisulfonat bilden konnte:

$$NaNO_2 + NaHSO_3 + SO_2 \longrightarrow HON(SO_3Na)_2$$

Bei der Isolierung des Hydroxylammoniumsulfat ($(NH_3OH)_2SO_4$) zur Oximierung des Cyclohexanons fielen je t Endprodukt 13,5 m^3 Abwasser mit 2,7 t Natriumsulfat (Na_2SO_4) an. Bei einer Jahresproduktion von rd. 100 000 t Caprolactam (1968) entsprach das einer Belastung des Vorfluters mit rd. 350 000 t Natriumsulfat. Erst die Umstellung des Verfahrens auf die katalytische Reduktion von Stickstoff mit Wasserstoff bei Anwesenheit verdünnter Schwefelsäure ließ das Abwasserproblem der Hydroxylaminsynthese praktisch bedeutungslos werden. Neben dem Hydroxylammoniumsulfat entsteht nunmehr lediglich Ammoniumsulfat ($(NH_4)_2SO_4$), das sich zu verwertbaren Mengen anreichern läßt und als verkaufsfähiges Düngemittel die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens erhöht.

Die Verknüpfung der hier abwassertechnisch angesprochenen Cyclohexanoxidation mit der Hydroxylaminsynthese als wichtige Ausgangsprozesse bei der Herstellung von Nylon und Perlon zeigt Übersicht 58.

3.324 Verbesserung der Abwasserverhältnisse durch wasserwirtschaftliche Kooperation mit der Gebietskörperschaft

3.3241 Behandlung des Abwassers in einer Gemeinschaftskläranlage nach dem Belebungsverfahren

Trotz ihrer z.T. spektakulären Erfolge vermögen Verfahrensumstellungen nur jeweils p a r t i e l l an der Verminderung der betrieblichen Abwasserlast mitzuwirken. Eine echte Verbesserung der Abwasserverhältnisse wird nur dann zu erreichen sein, wenn sich derartige Anstrengungen nicht mehr ausschließlich am Kriterium ihrer betriebswirtschaftlich-technischen Opportunität, und somit am Einzelfall orientieren, sondern im Interesse der Umwelthygiene das g e s a m t e Abwasser des Chemiebe-

FOLGEPRODUKTE DER CYCLOHEXANOXIDATION

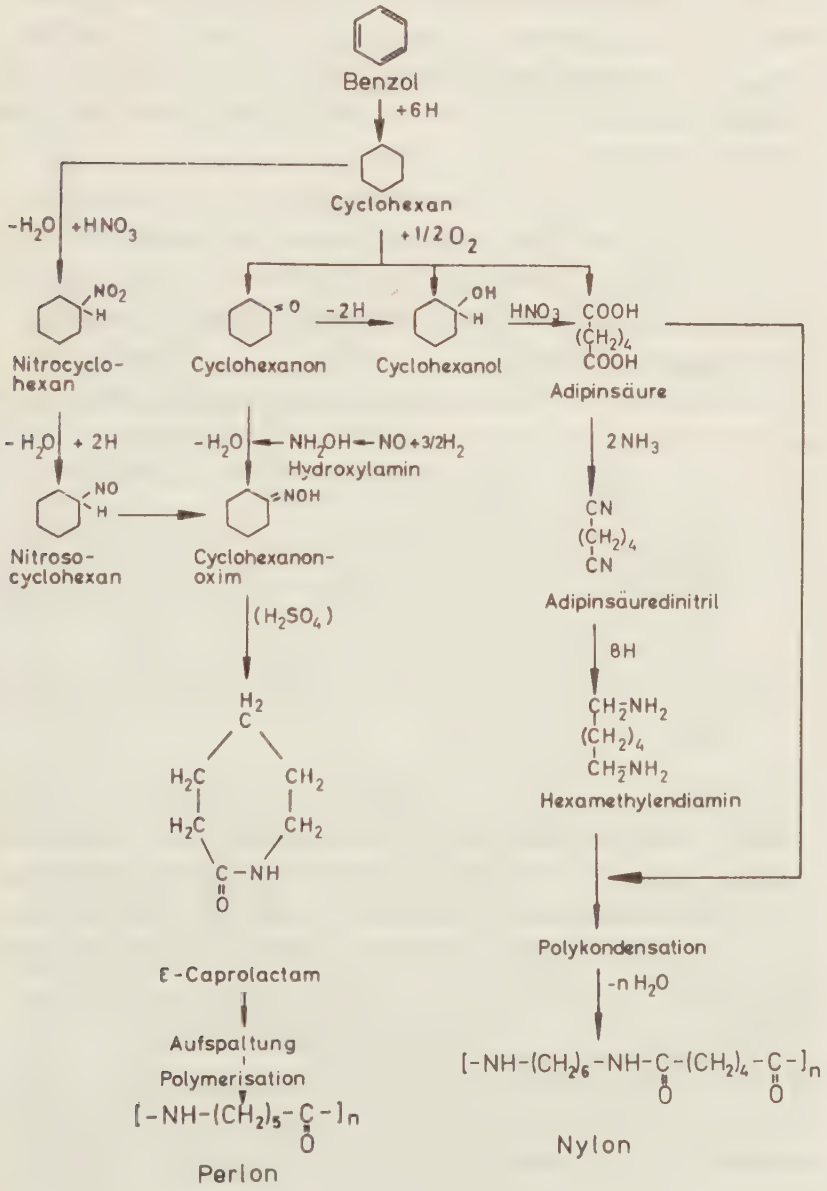


Abb. 58

triebes berücksichtigen. Das wird um so dringlicher, als sich mit der zunehmenden Bedeutung petrochemisch erzeugter Zwischen- und Endprodukte der Anteil organisch gelöster Verunreinigungen zwangsläufig erhöht, dem aber andererseits unter den Verhältnissen expandierender Produktion allein durch vereinzelte Verfahrensumstellungen nur begrenzt begegnet werden kann.

Diese Überlegungen führten im Zusammenhang mit entsprechenden wasserrechtlichen Bescheiden bei vielen Werken der Chemischen Großindustrie zu dem Entschluß, die trotz innerbetrieblicher Vorreinigungsmaßnahmen noch mit Fremdstoffen beladenen Prozeßabwässer künftig vor ihrer Einleitung in den Vorfluter zentral zu erfassen und sie in einer Sammelkläranlage weiteren Aufbereitungsprozessen zu unterwerfen.

Dabei galt es, zunächst 2 Fragen zu beantworten:

1. Welche der bekannten und technisch beherrschbaren Klärprinzipien lassen sich bei den werksspezifischen Chemieabwässern mit höchster Effizienz einsetzen?
2. Welche kostensenkenden Kooperationsmöglichkeiten mit anderen abwassertechnisch interessierten Institutionen bestehen am jeweiligen Standort?

Um mit der zweiten, da für den Standort Ludwigshafen relativ unproblematischen Frage zu beginnen: Hier bot sich von vornherein die gemeinsame Reinigung der BASF-Abwässer mit den bislang nur grobmechanisch geklärten kommunalen Abwässern der Stadt Ludwigshafen an. Nach entsprechenden Verhandlungen auch vertraglich fixiert und am 15.10.1965 vom Ludwigshafener Stadtrat bestätigt, wurde diese Lösung zu einem wichtigen Datum der weiteren Planungsarbeiten.

Ungleich schwieriger gestalteten sich dagegen die mit Frage 1 ausgelösten abwassertechnischen Erhebungen. Zwar lag es nahe, wegen der organischen Verschmutzung des BASF-Abwassers ein biologisches Reinigungsverfahren zu wählen, doch waren die im kommunalen Bereich mit derartigen Anlagen gemachten Erfahrungen nur sehr bedingt verwertbar. Bio-

logische Abwasserreinigungsverfahren, wie insbesondere das für die BASF nur in Frage kommende Belebungsverfahren[112], setzen sich die bereits an anderer Stelle angesprochenen Selbstreinigungsvorgänge im Vorfluter zum Modell, wonach im Wasser befindliche organische Substanz von Mikroorganismen z.T. in energiearme anorganische Verbindungen, wie z.B. Wasser, Kohlensäure und Nitrat, z.T. aber auch durch Assimilation in neues Zellmaterial umgewandelt wird[113]. Notwendige Voraussetzung dieser biochemischen Reaktionsabläufe ist eine ausreichende Sauerstoffzufuhr; sie entscheidet damit über den Erfolg jeder aerob betriebenen künstlichen Abwasserreinigung. Außer dieser allgemein formulierten, für Kommunal- und Chemieabwässer gleichermaßen konstitutiven Bedingung sowie dem Erfordernis optimaler Nährstoffverhältnisse für den mikrobiellen Abbau fehlt es jedoch an weiteren verwertbaren abwassertechnischen Gemeinsamkeiten.

Das beginnt bereits bei der Frage, was als behandlungsbedürftiges Abwasser anzusehen ist. Im städtischen Bereich ist es die der Kanalisation insgesamt zugeleitete Wassermenge, gleichgültig, ob es sich dabei um den Trockenwetter- oder Regenwetterabfluß handelt. Für einen nach dem "Mischsystem" entwässernden Chemiebetrieb von der Größenordnung der BASF verbietet sich eine derartige Betrachtung allein unter Hinweis auf

---

112) Eine andere verfahrenstechnische Variante der biologischen Abwasserreinigung ist das sog. "Tropfkörperverfahren". Das Abwasser wird hier mit Drehsprengern über einen mit faustgroßen Lavasteinen oder Kunststoffmaterialien luftdurchlässig angefüllten Turm (Tropfkörper) verteilt, so daß sich auf der Oberfläche des Brockenmaterials ein aus Mikroorganismen bestehender "biologischer Rasen" bilden kann, der die gelösten bzw. kolloiden organischen Abwasserinhaltsstoffe adsorbiert und aerob abbaut. Anpassungsschwierigkeiten gegenüber schwankenden Abwassermengen, die vergleichsweise geringere Abbauleistung sowie kapazitive Gesichtspunkte lassen den Einsatz des Tropfkörperverfahrens bei der chemiebetrieblichen Abwasserreinigung häufig erst in Kombination mit einer Belebtschlammstufe sinnvoll erscheinen - ein Weg, der von der BASF allerdings nicht beschritten wurde. Zu verfahrenstechnischen Grundlagen vgl. Meinck, F.; Stooff, H. und Kohlschütter, H.: Industrie-Abwässer, a.a.O., S. 112 ff.

113) Zu den morphologischen und physiologischen Grundlagen der biologischen Abwasserreinigung vgl. Muskat, J.: Grundprinzipien der biologischen Abwasserreinigung. In: Chemie-Ingenieur-Technik.

den extrem hohen Kühlwasseranteil, für den eine Klärnotwendigkeit nicht besteht. Damit wird aber das Prinzip der sog. "Trennkanalisation" zu einer unabdingbaren Voraussetzung bei der abwassertechnischen Sanierung von Chemischen Großbetrieben: Die anfallenden Abwässer werden hier bereits in den Produktionsstätten nach ihrer Behandlungsbedürftigkeit getrennt und gesonderten Kanalnetzen zugeführt. Nur der behandlungsbedürftige, d.h. organische, biologisch abbaubare Schmutzstoffe enthaltende Teil, erhöht um den städtischen Abwasseranfall, bestimmt die Bemessungsgrößen einer geplanten Gemeinschaftskläranlage, während das nichtbehandlungsbedürftige Kühlwasser wie bisher direkt, d.h. unter Umgehung der letzten Reinigungsstufe in den Vorfluter gelangt.

Auch die Frage nach der voraussichtlichen Beschaffenheit des behandlungsbedürftigen Abwassers läßt sich für den Chemiebetrieb nicht ohne weiteres mit Erfahrungswerten beantworten, wie das etwa bei den städtischen Abwässern möglich ist. Hier können nur umfangreiche Erhebungen, in deren Verlauf sämtliche Produktionsstätten des Werkes über die angefallenen Abwässer nach Menge und Zusammensetzung "befragt" werden, einen hinreichend zuverlässigen Überblick geben.

Von der BASF wurden derartige Untersuchungen z.T. in Zusammenarbeit mit dem "Forschungs- und Entwicklungsinstitut für Industrie- und Siedlungswasserwirtschaft sowie Abfallwirtschaft e.V. in Stuttgart" in den Jahren 1960 - 1965 durchgeführt. Parallel hierzu betriebene Laborversuche erbrachten den Beweis, daß sich die Werksabwässer sowohl allein, als auch in Gemeinschaft mit dem kommunalen Anteil in einer zentralen Kläranlage biologisch reinigen lassen[114].

Das Problem solcher abwassertechnischen Vorarbeiten liegt in der

---

39. Jg., Nr. 4/1967, S. 179 ff.

114) Vgl. Jäger, Bernhard und Haltrich, Walter: Erfahrungen mit dem Betrieb von Versuchsanlagen zur biologischen Reinigung industrieller Abwässer nach dem Belebtschlammverfahren. In: Das Gas- und Wasserfach. 104. Jg., Nr. 36/1963, S. 1045 ff.

chwierigkeit, über Bestandsaufnahmen hinaus auch künftige Abwasserverhältnisse zu simulieren. Die sowohl branchen- als auch betriebsspezifische Heterogenität des Chemieabwassers sowie die sich ständig wandelnde Abwasserlast infolge produktionswirtschaftlicher Dynamik bringen schwer kalkulierbare Unsicherheitsmomente in jede Planung. Vor welchem Hintergrund das zu sehen ist, mag aus folgenden - hier nur jeweils kurz andiskutierbaren - Belastungsgrößen der chemieindustriellen Abwassertechnik zu entnehmen sein:

Es wurde bereits darauf hingewiesen, daß für den mikrobiellen Abbau organisch gelöster Abwasserinhaltsstoffe u.a. ein ausreichendes Nährstoffangebot vorliegen muß; zu denken ist hier insbesondere an physiologisch verwertbaren Stickstoff (N) und Phosphor (P). Über die Höhe des abwassertechnischen Reinigungseffekts entscheidet allerdings weniger der absolute Stickstoff- bzw. Phosphorgehalt, als vielmehr das gewichtsanalytische Verhältnis, in dem diese Elemente zueinander stehen. Die Abwassertechnik bezieht das erforderliche Nährstoffangebot auf den biochemischen Sauerstoffbedarf und nennt als ersten Näherungswert

$$BSB_5 : N : P = 100 : 5 : 1$$ [115)]

Festgestellte Unterproportionen senken automatisch die biologische Abbauleistung. Für die BASF ergab sich ein derartiges Problem aus dem verminderten Gehalt an reduzierten Stickstoffverbindungen. Erst die künstliche Zugabe von Harnstoff erhöhte im Laborversuch die BSB_5-Abbaurate auf 90 - 95 %; ein etwaiger Phosphormangel war allein durch den entsprechenden Überschuß im beigemischten häuslichen Abwasser zu kompensieren.

Die Forderung nach günstigen Lebensbedingungen für die den biologischen Abbau betreibenden Mikroorganismen bezieht sich insbesondere auch auf den Sauerstoffbedarf. Er richtet sich nach den im Abwasser enthaltenen organischen Substanzen und weist - wie ein Blick auf Tab. 59 lehrt - für Chemiebetriebe z.T. erhebliche Schwankungsbreiten auf:

---

115) Vgl. Meinck, F.; Stooff, H. und Kohlschütter, H.: Industrie-Abwässer, a.a.O., S. 110

SAUERSTOFF-BEDARF BEI DER REINIGUNG VERSCHIEDENER MISCH-ABWÄSSER DER CHEMISCHEN INDUSTRIE [116]

(O_2- Gehalt des Belebtschlamm-Beckens = 2 mg/l; Wirkungsgrad, bezogen auf BSB_5 = 92 - 95 %)

Art des Betriebes	O_2 - Bedarf (kg O_2/kg BSB_5-Abbau)
Kunststoff-Betrieb (Phenol-Formaldehyd)	2,1
Petrochemischer Betrieb (Lösemittel, Produkte der Hochtemperatur-Pyrolyse, Kunststoffe)	2,1
Kunststoff-Betrieb (Formaldehyd)	2,0
Chemisch-pharmazeutischer Betrieb (Citronensäure, pharmazeutische Produkte)	1,2
Chemisch-pharmazeutischer Betrieb (Zwischenprodukte, Farbstoffe)	1,5
Chemischer Betrieb (Zwischenprodukte, Insecticide)	1,4
Chemischer Betrieb (organische Zwischenprodukte, Lösemittel, Kunststoffe)	2,2
Pharmazeutischer Betrieb	1,15

Tab. 59

Die von der kommunalen Abwasserreinigung her bekannten Verhältniswerte ("OC/load")[117] aus Sauerstoffzufuhrleistung (Oxygenation Capacity) und BSB_5-Belastung (load) sind hier nur sehr bedingt anwendbar. Ein Chemiebetrieb mit heterogener und sich wandelnder Abwasserzusammensetzung wird daher bei der Auswahl eines geeigneten Belüftungssystems in besonderem Maße auf dessen Leistungsfähigkeit im Sauerstoffeintrag zu achten haben. Für die BASF war in diesem Zusammenhang

116) Vgl. Heinicke, D.: Möglichkeiten und Grenzen der biologischen Reinigung von Abwässern der chemischen Industrie. In: Chemie-Ingenieur-Technik. 39. Jg., Nr. 4/1967, S. 189

117) Vgl. Imhoff, Karl: Taschenbuch der Stadtentwässerung, a. a. O., S. 170 ff.

nsofern eine besondere Schwierigkeit zu umgehen, als der relativ hohe Nitrat-Gehalt des Abwassers von rd. 200 mg/l zwangsläufig zu den bekannten Störungen im Nachklärbecken durch Stickstoff-Flotation des belebten Schlamms führen muß. Derartige Störungen beruhen auf der Fähigkeit anaerober Bakterien, bei Sauerstoffmangel das Nitrat fermentativ zu spalten (Denitrifikation). Während der freigesetzte Sauerstoff veratmet wird (Nitratatmung), kann sich der Stiffstoff nach Überschreiten der Löslichkeitsgrenze als freie Gasblasen den Schlammflocken anlagern und diese zum Aufschwimmen bringen; die Abscheidung des Schlamms, und damit die Funktionsfähigkeit der Nachklärung überhaupt, wäre weitgehend unmöglich gemacht. Um diesen Schwierigkeiten zu begegnen, ist daher geplant, dem eigentlichen Belüftungsprozeß eine unbelüftete Stufe vorzuschalten, damit der sich hier unter anaeroben Bedingungen bildende Stickstoff anschließend wieder leicht ausgetrieben werden kann und den Absetzvorgang des Schlamms im Nachklärbecken nicht weiter beeinträchtigt. Der Gesamtwirkungsgrad von Denitrifikation und Belüftung läßt sich so auf rd. 94 % steigern.

Über die Flockungs- und Sedimentationsfähigkeit des belebten Schlamms entscheidet allerdings auch der Gehalt an anorganisch-suspendierten Stoffen im Abwasser, da ungelöste Partikel den Mikroorganismen zugleich als Anlagerungskerne dienen. Wegen der nur unbedeutenden Menge suspendierter Verunreinigungen im behandlungsbedürftigen BASF-Abwasser kam es bereits im Versuchsstadium zur Bildung eines aus fadenförmigen Bakterien (Spaerotilus natans) bestehenden "Blähschlamms", der sich im Nachklärbecken nur schwer abtrennen ließ. Erst das Beimischen von tonhaltigem Filterrückspülwasser von den Wasserwerken schuf wirksame Abhilfe: der Schlammindex sank von 300 - 500 ml/g auf rd. 100 ml/g.

Mit der Wasserstoffionenkonzentration sei ein weiterer Einflußfaktor bei der biologischen Reinigung von Chemieabwässern erwähnt. Auch hier haben praktische Erfahrungen gezeigt, daß sich die Geschwindigkeit des mikrobiellen Abbaus ceteris paribus in Richtung saures bzw. basisches Milieu verringert, mithin der neutrale Bereich als optimal

anzusehen ist (Tab. 60):

EINFLUSS DES pH-WERTES AUF DIE BIOLOGISCHE ABWASSERREINIGUNG [118]

pH		
3,0	saurer Grenzbereich:	Biologische Reinigung möglich, jedoch stark herabgesetzter Wirkungsgrad. Artenarme Biozönose.
4,5	saurer Adaptionsbereich:	Biologische Reinigung mit befriedigendem Wirkungsgrad, wenn extreme pH-Werte eingehalten werden. Hemmung der Nitrifikation.
6,5	sicherer pH-Bereich:	Biologische Reinigung mit gutem Wirkungsgrad
9,0	alkalischer Adaptionsbereich:	Biologische Reinigung mit befriedigendem Wirkungsgrad, wenn extrem pH-Werte eingehalten werden. Hemmung der Nitrifikation.
10,5	alkalischer Grenzbereich:	Biologische Reinigung möglich, jedoch stark herabgesetzter Wirkungsgrad. Artenarme Biozönose.
11,5		

Tab. 60

Saure Abwässer, wie die der BASF, müssen daher zunächst durch Zugabe von Dosiermitteln neutralisiert werden, bevor sie in die biologischen Reinigungsstufen gelangen. Wegen der besonderen baulichen Voraussetzungen, wie z. B. unterirdischer Abwasseranfall in großen Menge

118) Vgl. Jacobitz, K.-H.: Die Ableitung industrieller Abwässer in öffentliche Entwässerungen und die gemeinsame Behandlung mit häuslichem Abwasser. Diss. TH Darmstadt 1965, S. 164

fehlendes Gelände für übliche Neutralisationsanlagen, war schon im Versuchsstadium abzuklären, inwieweit sich der Neutralisationseffekt durch Zugabe von Chemikalien in die fließende Welle unter gleichzeitiger Ausnutzung der vorhandenen bzw. künstlich erzeugten Turbulenz erzielen läßt. In Zusammenarbeit mit dem "Institut für Hydromechanik, Stauanlagen und Wasserversorgung der TH Karlsruhe" konnte durch Modellversuche ermittelt werden, daß für die Wirksamkeit einer pH-Vorregulierung mit Kalkmilch die "natürliche" Mischeinrichtung einer in 15 Minuten durchflossenen Reaktionsstrecke von 1,8 km ausreichend ist, während bei der Endneutralisation mit Natronlauge erst 2 in die Fließstrecke und unterhalb der Dosierstellen eingebaute Absturzbauwerke von 50 bzw. 65 cm Höhe den notwendigen Mischeffekt durch turbulente Diffusion ermöglichen.

Schließlich sei noch auf ein für Chemiebetriebe typisches abwassertechnisches Risiko hingewiesen, wonach diskontinuierlich und/oder mit wechselnder physikalisch-chemischer Zusammensetzung anfallende Abwässer die Stoffwechselvorgänge der Mikroorganismen, und damit die Effizienz des Klärbetriebes beeinträchtigen können. Insbesondere folgende Faktoren üben auf den mikrobiellen Abbau einen ungünstigen Einfluß aus:

1. Konzentrationsschwankungen im Angebot organischer Substanz,
2. Hydraulische Überlastungen, die vom Puffervolumen der Anlage nicht aufzufangen sind,
3. Schwankende Wasserstoffionenkonzentration, selbst innerhalb der lt. Tab. 60 an sich noch möglichen pH-Wert-Arbeitsbereiche,
4. Plötzlicher Wechsel in der Abwassertemperatur, zumal wenn über den Bereich von 8 bis 35°C jeweils hinausgehend[119] und
5. Stoßbelastungen durch spezielle Giftstoffe, wobei es zwar auch auf das Einhalten der in Tab. 61 auszugsweise wiedergegebenen

---

119) Vgl. Viehl, K.: Über den Einfluß der Temperatur auf die biologischen Umsetzungen im Wasser und Schlamm unter besonderer Berücksichtigung der Wirkung von Warmwassereinleitungen auf Vorfluter. In: Gesundheits-Ingenieur. 71. Jg., Nr. 21/22/1950, S. 350

Grenzwerte ankomme, in stärkerem Maße jedoch auf das Vermeiden jeder plötzlichen Konzentrationsänderung.

SCHÄDLICHKEITSGRENZEN FÜR TOXISCHE SUBSTANZEN BEI DER BIOLOGISCHEN ABWASSERREINIGUNG [120]
(Belebungsverfahren)

Gift	Ausgedrückt als	Grenzwert
Blausäure, Natrium- und Kaliumcyanid	CN	1 - 1,6 mg/l
Cadmiumverbindungen	Cd	1 - 5 mg/l
Chlor	Cl_2	> 0 mg/l
Dinitrophenol	$(NO_2)_2C_6H_3OH$	4 mg/l
Hexamethylentetramin	$(CH_2)_6N_4$	> 2 g/l
Kupferverbindungen	Cu	1 mg/l
Natronlauge, Kalilauge, Ätzkalk, Soda	pH-Wert	9 - 9,5
Nickelverbindungen	Ni	6 mg/l
Phenol (Reinphenol)	C_6H_5OH	> 250 mg/l
Salzsäure, Phosphorsäure, Salpetersäure, Schwefelsäure	pH-Wert	5
Schwefelwasserstoff, Sulfid	S^{2-}	5 - 25 mg/l
Zinkverbindungen	Zn	1 - 3 mg/l

Tab. 61

Allein diese vereinzelt oder simultan auftretenden Faktoren bedingen eine Vielzahl von Wirkungsalternativen, die es bereits im Planungsstadium durch projektierte Regelungsmechanismen technisch beherrschbar zu machen gilt. Auf die innerbetrieblichen "traditionellen" Vorreinigungsmaßnahmen wird deshalb auch künftig nicht zu verzichten sein.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß die Chemische Industrie bei der Lösung ihres Abwasserproblems mit Hilfe biologischer Reinigungsverfahren auf umfangreiche Vorarbeiten angewiesen ist. Die dabei

120) Vgl. Liebmann, Hans: Handbuch der Frischwasser- und Abwasser-Biologie. Band II. München 1958, nach S. 974 (Tab. 85)

im Laborversuch und/oder halbtechnischen Maßstab gewonnenen Erkenntnisse haben nur betriebsindividuelle Aussagekraft. Verallgemeinerungen sind nur insofern zulässig, als der gemeinsame Nenner des angestrebten optimalen Kläreffekts die Einhaltung bestimmter Grunderfordernisse bei der chemiebetrieblichen Abwasserreinigung notwendig macht. Hierzu zählen in Stichworten

1. die Beseitigung eines bestehenden Nährstoffdefizits,
2. die Sauerstoffversorgung unter Ausnutzung eines u. U. gegebenen Nitratgehalts,
3. die Verbesserung der Absetzeigenschaften des belebten Schlamms, insbesondere die Anwesenheit suspendierter Stoffe als Siedlungsflächen für die Mikroorganismen,
4. die Notwendigkeit eines Konzentrations- und Mengenausgleichs,
5. die Möglichkeit einer pH-Wert-Steuerung,
6. die Einhaltung optimaler Abwassertemperaturen und
7. die separate Ableitung des Kühlwassers.

Bei der BASF konnten die Vorarbeiten inzwischen zu einem ersten Abschluß geführt werden, so daß bereits konkrete Vorstellungen über Aufbau und Wirkungsweise der geplanten Gemeinschaftskläranlage bestehen. Wie das Sankey-Diagramm in Abb. 62 erkennen läßt, sollen die behandlungsbedürftigen Abwässer der BASF und der Stadt Ludwigshafen zunächst durch Zugabe von Kalkmilch und - nach Passieren einer Misch- und Reaktionsstrecke - durch regelbare, zweistufige Dosierung mit Natronlauge neutralisiert werden. Ein nachgeschalteter Rechen hält grobe Schmutzstoffe zurück; ein Pumpwerk hebt das Abwasser auf ein höheres Niveau und befördert es über eine Druckrohrleitung in die eigentliche Kläranlage, bestehend aus Sandfang, Denitrifikations-, Belüftungs- und Nachklärbecken. Als gereinigter Ablauf gelangt es schließlich in den Vorfluter (Rhein). Ein Teil des sich im Nachklärbecken absetzenden Schlamms wird als Rücklaufschlamm zur Aufrechterhaltung der biologischen Abbauvorgänge in den Zulauf zur Denitrifikationsstufe zurückgepumpt, während der überschüssige Rest nach einem - bislang noch offenen - Aufbereitungsverfahren deponiefähig gemacht wird.

GEMEINSCHAFTSKLÄRANLAGE BASF/STADT LUDWIGSHAFEN A. RH.

(Fließschema der Abwasserbehandlung (Sankey) für Trockenwetterabfluß in m^3/h)

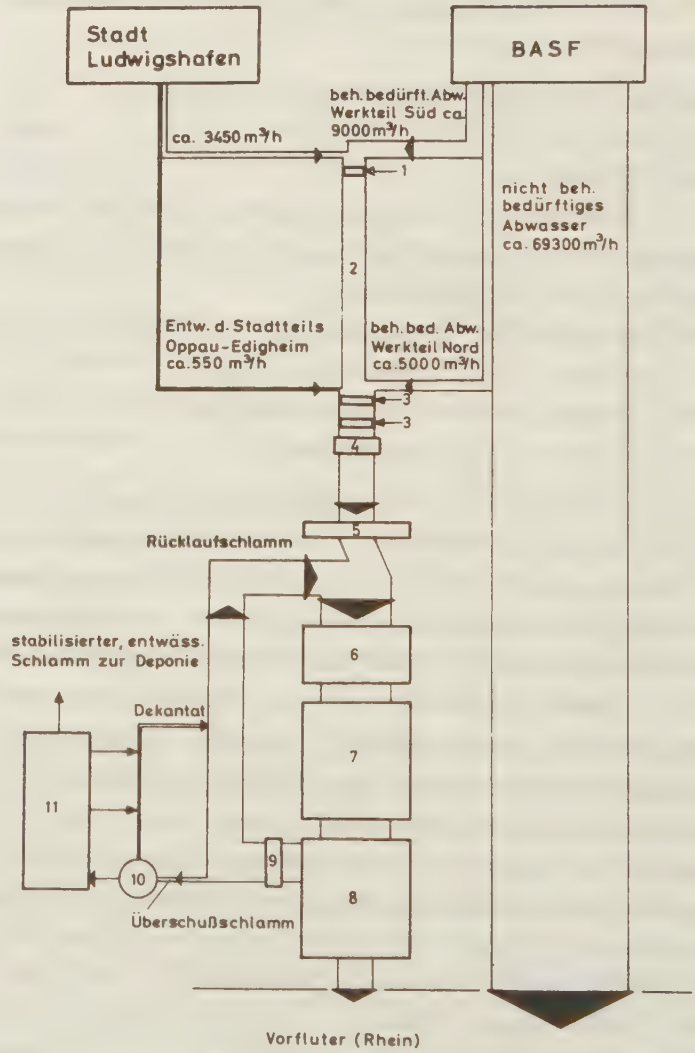


Abb. 62

Bevor voraussichtlich Ende 1972 mit den Bauarbeiten begonnen werden kann, sollen noch Erfahrungen mit einer z. Zt. im Bau befindlichen und bis Mitte 1970 fertiggestellten Versuchskläranlage hinsichtlich Dimensionierung, Schlammbehandlung und ingenieurtechnischer Details, wie Baumaterialien, Maschinenaggregate u. a. gesammelt werden. Mit ihrem Abwasserdurchsatz von rd. 60 m^3/h entspricht sie bereits der Kläranlage einer kleinen Stadt (15 000 - 20 000 Einwohner).

Im Einvernehmen mit den Wasseraufsichtsbehörden ist geplant, die Gemeinschaftskläranlage Anfang 1975 in Betrieb gehen zu lassen. Als Standort ist ein z. T. in Frankenthaler Gemarkung liegendes Gelände zwischen Autobahn und Frankenthaler Kanal vorgesehen (Abb. 121). Gleichzeitig wird damit die immer dringlicher gewordene Forderung nach Senkung chemiebetrieblicher - und hier auch kommunaler - Abwasserlast zu einem großen Teil erfüllt sein.

Legende zur Abb. 62

1: Kalkmilchdosierung zur pH-Vorregulierung
2: Misch- und Reaktionsstrecke (Länge rd. 1, 8 km)
3: Natronlaugedosierung zur Endneutralisation mit Absturz als Mischbauwerk
4: Abwasserpumpwerk mit vorgeschaltetem Rechen
5: Sandfang und Grobentschlammung
6: Denitrifikationsbecken (Erdbecken mit Rührern)
7: Belüftungsbecken (Erdbecken mit Oberflächenbelüfter)
8: Nachklärbecken (Maschinell geräumte Rechteckbecken)
9: Rücklaufschlammpumpwerk
10: Eindicker für Überschußschlamm
11: Schlammentwässerung und weitergehende Schlammbehandlung

Abb. 62 (Fortsetzung)

3.3242 Neuordnung des chemiebetrieblichen Kanalnetzes

Die bisherigen Erörterungen zum Problem der Abwasserreinigung waren vornehmlich qualitativ-analytisch angelegt: Art und Umfang der umwelthygienischen Einflußnahme, ihre chemiebetrieblichen Bedingtheiten sowie die bestehenden Chancen zur Verringerung der Abwasserlast standen im Mittelpunkt des Interesses. Ingenieurtechnische Überlegungen zur Kanalisation, deren funktionsgerechte Anlage am Erfolg jeder abwassertechnischen Sanierung ebenso beteiligt ist, wie die eigentlichen Klärmaßnahmen selbst, blieben weitgehend ausgeklammert; von ihnen soll im Folgenden die Rede sein.

Es wurde bereits darauf hingewiesen, daß historisch gewachsene Chemiebetriebe, wie z.B. die BASF, traditionell nach dem "Mischsystem" entwässern, d.h. sämtliche Abwässer, gleich welcher Zusammensetzung und damit Behandlungsbedürftigkeit, werden in gemeinsamen Kanälen dem örtlichen Vorfluter zugeführt (Abb. 63). Mit dem Entschluß, künftig zwischen behandlungsbedürftigen und nichtbehandlungsbedürftigen Abwässern zu unterscheiden und die Reinigungsmaßnahmen nur auf den Teil zu beschränken, der organisch und biologisch abbaubare Verunreinigungen enthält, wird zugleich die Installation eines zusätzlichen Kanalnetzes erforderlich. Gegenüber dem bisherigen "Mischsystem" ergibt sich damit für die "Trennkanalisation" eine erweiterte Aufgabenstellung:

1. Getrennte Erfassung von behandlungsbedürftigen und nichtbehandlungsbedürftigen Abwässern,
2. direktes Ableiten des nichtbehandlungsbedürftigen Teils in den Vorfluter und
3. Zusammenführen und Homogenisieren der behandlungsbedürftigen Abwässer durch einen Sammelkanal, der darüber hinaus noch den Weitertransport in die biologische Reinigungsstufe übernimmt.

Die Verwirklichung dieses Konzepts ist mit umfangreichen Bauarbeiten verbunden. Gemäß der sachlogischen Dreiteilung in der Funktionsweise einer Trennkanalisation konzentrieren sie sich zunächst auf die Errich-

PROJEKTIERTE TRENNKANALISATION DER BASF

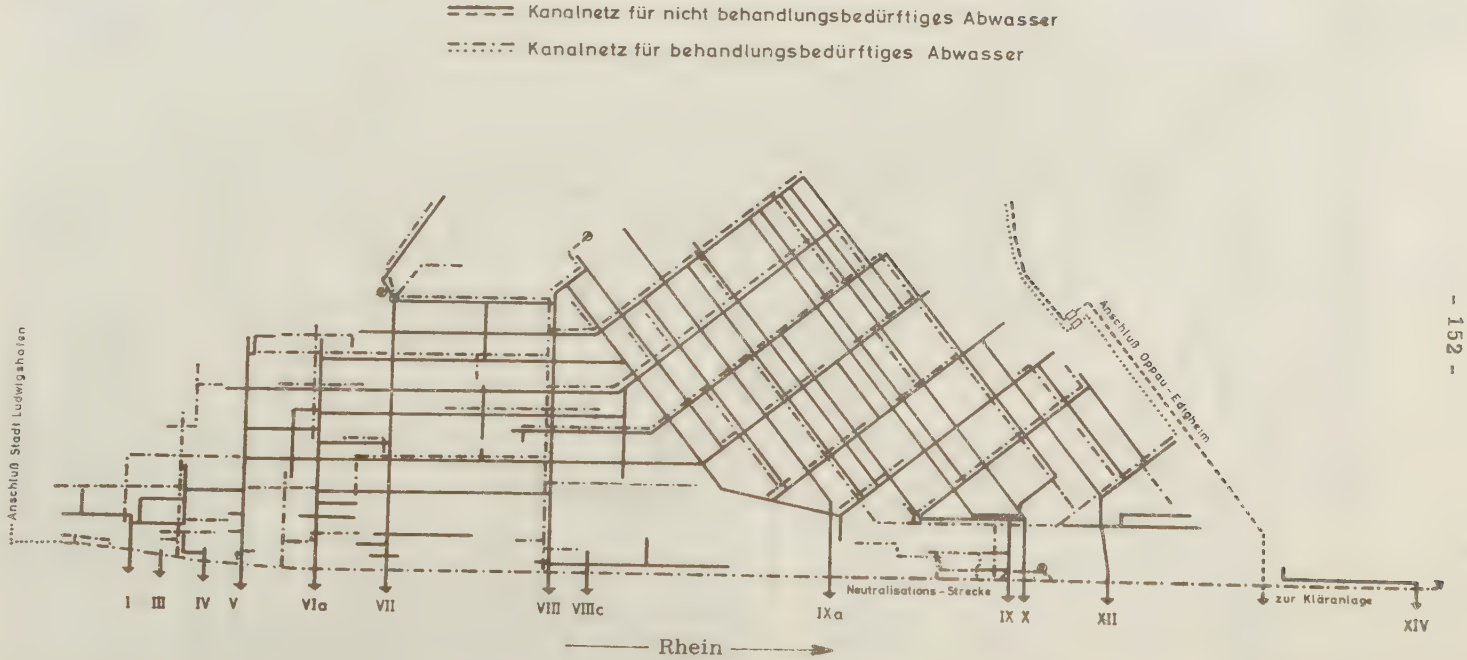


Abb. 64

ung eines weiteren Kanalsystems.

Es ist evident, daß - wie im Falle der BASF - die neu zu verlegenden Kanäle überwiegend dem behandlungsbedürftigen Abwasser vorbehalten bleiben, da mitunter nur so den im Verhältnis zum bisherigen Mischabwasser erhöhten Anforderungen hinsichtlich Säurebeständigkeit, Fugenabdichtung usw. durch geeignetere Materialien entsprochen werden kann.

Außer diesem erzwungenen Rückgriff auf den technischen Fortschritt im Abwasserkanalbau ergeben sich für den Chemiebetrieb besondere Probleme bei der Schaffung von Verlegeplätzen für den zusätzlichen Kanalbedarf. Er wird für die BASF mit rd. 25 km angegeben. Auf den Werksteil Süd entfallen dabei rd. 6,5 km, auf den Werksteil Nord

ABWASSER-SAMMELKANAL
(Plattenbauweise)

Abb. 65

rd. 19 km. Schon ein Vergleich mit der Länge der befestigten Fahrstraßen im Werk (= 82 km), an deren Grundstruktur sich die Kanalführung zu orientieren hat (Abb. 64), zeigt das Ausmaß der von diesen Baumaßnahmen ausgehenden innerbetrieblichen Beeinträchtigungen. Sie berühren nicht nur den werksinternen Verkehr, sondern sind zugleich potentielle Gefahrenmomente für den laufenden Produktionsbetrieb: Die bereits mit alten Abwasserkanälen, Fluß-, Grund- und Trinkwasserleitungen, Erdgasleitungen, Kabeltrassen, Rohrbrückenfundamenten und Eisenbahngleisen belegten Werksstraßen lassen nur unter großen baulichen Schwierigkeiten die Installation neuer Kanäle zu (Abb.67).

Für den Aufbau des Kanalnetzes für nichtbehandlungsbedürftige Abwässer sind die Probleme insofern etwas einfacher gelagert, als

ABWASSER-SAMMELKANAL
(Vorpreßverfahren, Arbeiten vor Ort)

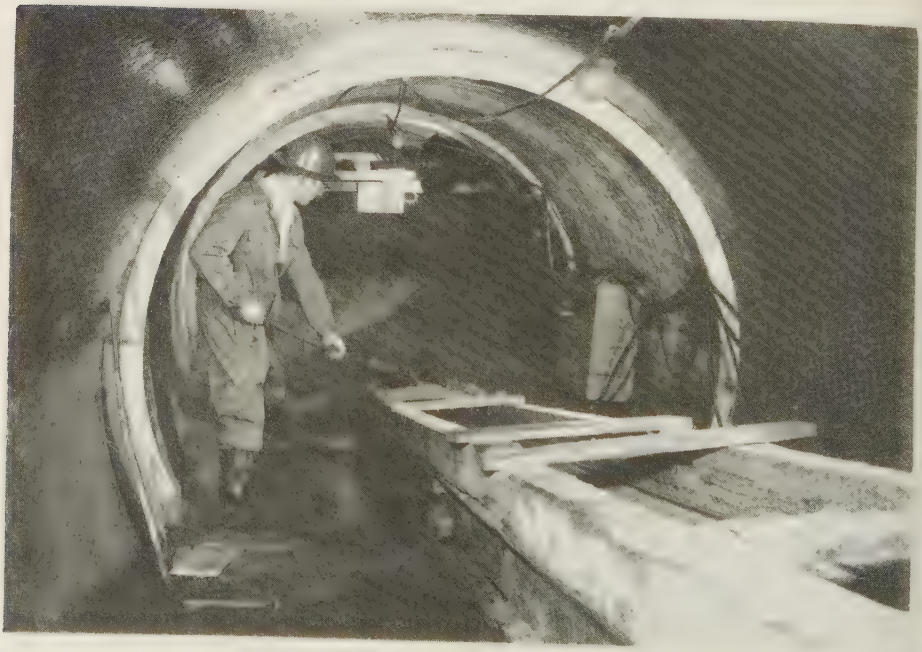


Abb. 66

QUERSCHNITT EINER WERKSTRASSE DER BASF

(Werk Ludwigshafen)

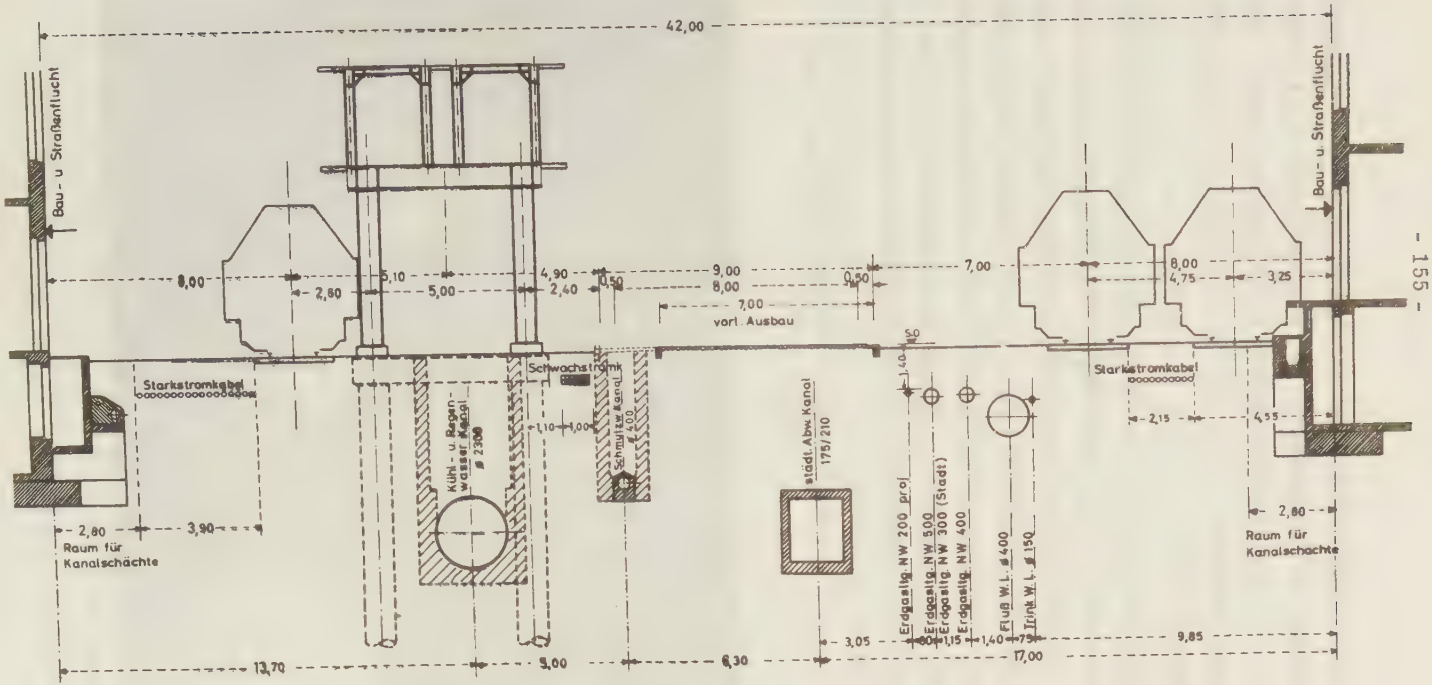


Abb. 67

zu einem großen Teil auf bereits vorhandene Kanäle zurückgegriffen werden kann; sie entwässern bei der BASF künftig über 13 Ausläufe direkt in den Rhein. Die Anlage der beiden Kanalnetze war im Oktober 1969 im Werksteil Süd zu rd. 90 %, im Werksteil Nord zu rd. 40 % abgeschlossen.

Ungleich schwieriger gestalteten sich dagegen die mit der Projektion eines Sammelkanals zu bewältigenden Bauarbeiten: Ein Sammler, der - wie bei der BASF - über Stichkanäle sowohl sämtliche behandlungsbedürftigen Abwässer des Werks (rd. 14 000 m^3/h) als auch die der Stadt Ludwigshafen (rd. 4 000 m^3/h) aufzunehmen hat, muß zur Gefälleausnutzung notwendigerweise in Vorfluternähe und in großer Tiefe verlegt werden. Für die Verlegearbeiten bedeutet das: Umbau sämtlicher

ABWASSER-SAMMELKANAL
(Vorpreßverfahren)

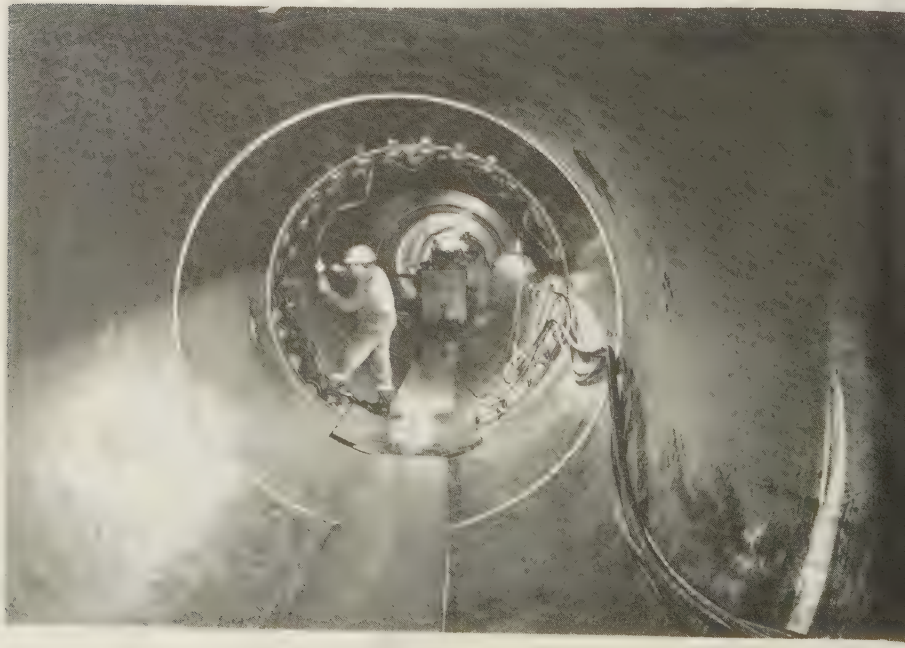


Abb. 68

orhandener Abwasserausläufe sowie zeitweilige Grundwasserabsenungen.

Die Bauplanung der BASF sieht vor, den Sammelkanal in drei Abschnitten zu je 2 km entlang des Rheinufers zu verlegen. Der erste, noch in offener Baugrube und mit stahlbetonummantelten Keramikplatten sowie Kunstharzfugenabdichtung im Profil von 2 x 2 m ausgeführte Kanalabschnitt wurde bereits Ende 1968 fertiggestellt (Abb. 65). Die Entwicklung des neuen Baustoffs "Polybeton", eines Gemischs aus mineralischen Zuschlägen und Polyesterharz Palatal® unter Verzicht auf das herkömmliche Bindemittel Zement, ermöglichte den Bau großer Rundprofile mit sehr guten Festigkeitseigenschaften, so daß für den 2. Bauabschnitt auf das rationellere Verfahren der hydraulischen Vorpressung von Rohren mit 2 600 mm Innendurchmesser übergegangen werden konnte (Abb. 66 und 68). Bis auf die Anlage von Vortriebskästen (Abb. 69) vollziehen sich die Verlegearbeiten unterirdisch und beeinträchtigen somit nicht mehr den werksinternen Verkehr. Diese Vorteile veranlaßten die BASF, das Verfahren noch an mehreren anderen Stellen des Werks anzuwenden. Mit der Fertigstellung des 2. Bauabschnitts Ende 1969 konzentrieren sich die Planungs- bzw. Baumaßnahmen auf den 3. Abschnitt des Sammelkanals.

ABWASSER-SAMMELKANAL
(Vorpreßverfahren, Hauptpreßgrube)

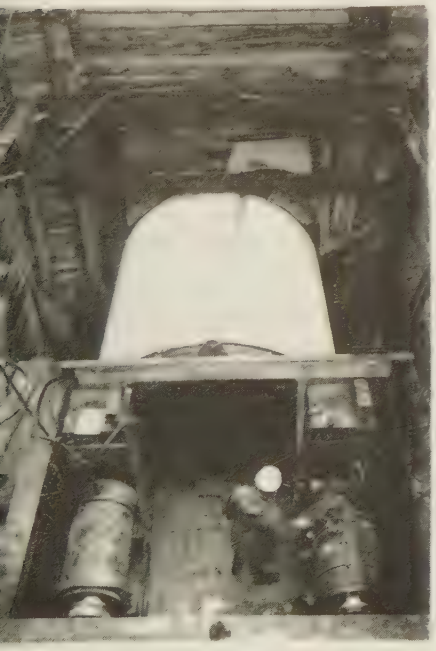


Abb. 69

Dem Zeitplan dieser seit Anfang 1966 z. T. simultan ausgeführten Bauarbeiten ist zu entneh-

men, daß die bis Mitte 1970 zu errichtende Versuchskläranlage die behandlungsbedürftigen Abwässer der Werksteile Süd und z. T. auch Nord dem bereits fertiggestellten Teilstück des Längssammlers entnehmen kann. Der Kapazität dieser Anlage entsprechend werden hiervon allerdings nur rd. 60 m^3/h erfaßt, so daß der "Rest" für die Übergangszeit bis zur Inbetriebnahme der Gemeinschaftskläranlage Anfang 1975 noch ungereinigt in den Rhein abgeleitet werden muß.

3.4 Kosten der chemiebetrieblichen Abwasserreinigung

Bei der Frage nach dem ökonomischen Stellenwert der abwassertechnischen Sanierung im Chemiebetrieb ist es erforderlich, den Begriff der Abwasserreinigungskosten in 5-facher Weise zu problematisieren:

1. Abwasserreinigungskosten sind ein Ausdruck behördlicher Einflußnahme auf den Prozeß der chemiebetrieblichen Leistungserstellung. Sie tragen Auflagencharakter und sind insofern einzelwirtschaftlich "ungewollt".

2. Abwasserreinigungskosten werden aufgewendet, um die Beeinträchtigungen der bereits an anderer Stelle erwähnten übrigen, d.h. über die "Vorflut für Chemieabwässer" hinausgehenden Gewässernutzungsmöglichkeiten in definierbaren Grenzen zu halten. Läßt sich ein derartiger Umweltbelastungseffekt nicht völlig vermeiden, entstehen volkswirtschaftliche Kosten in Form von Nutzungseinbußen, für die die Gesellschaft, zumindest aber andere Wirtschaftssubjekte als der verursachende Betrieb aufzukommen haben. Bei dem in der Abwasserreinigung gegenwärtig praktizierten Kompromiß zwischen "Technisch Möglichem" und "Wirtschaftlich Vertretbarem" ist diese Form der Kostenverteilung - und damit das Entstehen von "social costs" - geradezu typisch geworden. Was auch immer an diesbezüglich hohen finanziellen Aufwendungen von der Chemischen Industrie genannt werden mag, sie können den Umweltbelastungseffekt nur vermindern helfen, nie ganz völlig aufheben, mit anderen Worten: das Kostenverursachungsprinzip

ilt nur beschränkt.

. Abwasserreinigungskosten dürfen immer nur vor dem empirischen lintergrund betriebsindividueller Abwasserverhältnisse gese-en und als solche gewürdigt werden. Rahmenbedingungen, wie

a) naturgesetzlich determinierbare Wechselwirkungen zwischen verfahrenstechnischer Grundlage und Abwassermenge bzw. - zusammensetzung,
b) örtlich differierende Vorfluterverhältnisse sowie
c) konkurrierende Zweckbestimmungen des Gewässers am gegebenen Standort

aben die Aufsichtsbehörden dazu veranlaßt, ihre Auflagen jeweils auf en Einzelfall zu beziehen und dabei lediglich Reinheitskriterien, wie H-Wert, Temperatur, BSB_5, Ionenfracht usw. vorzuschreiben (Tab. 53). Die Wahl eines geeigneten Reinigungsverfahrens bleibt dem Chemie-etrieb überlassen und damit auch der ökonomische Ermessensspiel-aum in der Realisierungsphase.

. Abwasserreinigungskosten sind innerhalb des chemiebetrieblichen esamtkostengefüges sowohl inhaltlich als auch der Höhe nach nur nä-erungsweise zu bestimmen. Soweit sie lediglich den wirtschaftlichen egenwert der bereits erwähnten umfangreichen Vorarbeiten zur ab-assertechnischen Sanierung wiedergeben sollen, bestehen derartige bgrenzungsprobleme kaum; sie belaufen sich bei der BASF auf rd. ,6 Mio. DM; die Baukosten der 1970/71 betriebenen Versuchskläranlage etragen rd. 2 Mio. DM. Das gleiche gilt für die Investitionskosten der eplanten biologischen Gemeinschaftskläranlage einschließlich Sammel-anal und Trennkanalisation, die hier insgesamt 155 Mio. DM betragen nd mit Ausnahme der vom Werk allein zu finanzierenden Trennkanali-ation (= 74 Mio. DM $\hat{=}$ 3000 DM/m) auf die BASF und Stadt Ludwigs-afen gemäß anteiliger Abwasserlast verteilt werden (Tab. 70).

chwieriger ist es dagegen um die verursachungsgemäße Erfassung der n Zusammenhang mit herkömmlichen Reinigungsverfahren oder durch mstellungen abwassererzeugender Verfahrenstechniken entstehenden

Kosten bestellt. Soweit es sich um Vorreinigungsmaßnahmen in den einzelnen Produktionsstätten handelt, dürften wohl Mängel der praktizierten Betriebsabrechnung dafür verantwortlich sein, wenn - wie im Falle der BASF - hierüber keinerlei konkrete Kostenangaben gemacht werden können; es zeigt sich auch hier, daß die Kategorie "Abwasserreinigungskosten" erst jüngerer Natur ist. Soweit es den ökonomischen Hintergrund abwasserlastvermindernder Verfahrensumstellungen betrifft, so sind es branchengenerell geltende Abgrenzungsschwierigkeiten, die eine eindeutige Zuordnung von Reinigungseffekt und einzelwirtschaftlicher Kostenbelastung nicht gestatten. In diesem Zusammenhang sei auf das Beispiel der Äthylenoxidherstellung hingewiesen: Zweifellos handelt es sich bei der Umstellung des Chlorhydrinverfahrens auf die katalytische Direktoxidation um einen chemiebetrieblichen Beitrag zur Gewässerreinhaltung, der aber ebenso zweifelsfrei unterblieben wäre, wenn sich nicht gleichzeitig die Situation im Rohstoffeinsatz grundlegend verbessert hätte (Petrochemie!).

GESAMTKOSTEN DER GEMEINSCHAFTSKLÄRANLAGE BASF/STADT LUDWIGSHAFEN AM RHEIN

Trennkanalisation	Werksteil Süd	rd. 22 Mio. DM	
	Werksteil Nord	rd. 52 Mio. DM	74 Mio. DM
Sammelkanal			46 Mio. DM
Kläranlage			35 Mio. DM
Insgesamt			155 Mio. DM

Tab. 70

Die von der BASF für die Jahre 1965 - 1968 angegebenen Abwasserreinigungskosten sind insofern nur als Teilgröße aufzufassen, die zumindest noch der Ergänzung um werksinterne, d.h. in den einzelnen Produktionsstätten anfallende Vorreinigungskosten bedürfen (Tab. 71).

Die erwähnten Abgrenzungs- und Zuordnungsschwierigkeiten haben auch in der Literatur dazu geführt, Angaben zum ökonomischen Stellenwert der chemiebetrieblichen Abwasserreinigung nur auf den relativ eindeutig

ABWASSERREINIGUNGSKOSTEN DER BASF

(Mio. DM/Jahr)

1965	1966	1967	1968
3,15	3,57	3,92	6,98

Tab. 71

zu fixierenden Investitions- und Betriebskostenblock bestehender bzw. geplanter biologischer Kläranlagen zu beschränken. Unter Bezugnahme auf die jeweiligen abwassertechnischen Kenndaten lassen sich so - trotz der grundsätzlichen Heterogenität chemiebetrieblicher Abwasserverhältnisse - wenigstens vergleichbare Näherungswerte ermitteln (Tab. 72).

Die spezifischen Investitionskosten der Gemeinschaftskläranlage der BASF/Stadt Ludwigshafen betragen

- bei einer BSB_5-Last von rd. 113 tato (BASF: 96 tato, Stadt Ludwigshafen: 17 tato (Tab. 50)) und
- ohne Berücksichtigung der Trennkanalisation und des Sammelkanals

rd. DM 310,--/kg $BSB_5 \cdot$ Tag. Sie entsprechen damit größenordnungsmäßig den in Tab. 72 gemachten Angaben. Die zwischenzeitlichen Veränderungen in der BSB_5-Last sowie die allgemeine Problematik von Projektionsdaten belasten diese (ohnehin nur als Näherungswert anzusehende) Kostengröße mit zusätzlichen Unsicherheitsmomenten. Darüber hinaus beinhaltet dieser Wert noch nicht die Kanalisationskosten, die aber - wie das Beispiel der BASF lehrt - die eigentlichen Reinigungskosten um ein Mehrfaches übersteigen können.

Die mit Tab. 72 ebenfalls ausgewiesenen Betriebskosten sind (bis auf den mit rd. DM 0,12/kg BSB_5 anzugebenden Kapitaldienst [120]) für die Ge-

120) unter der Voraussetzung einer auch für die biologischen Kläranlagen der Chemieunternehmen Merck, Hoechst und Bayer lt. Tab. 72 gewählten Amortisationsdauer (= 10 Jahre) und Verzinsung (= 6 %)

INVESTITIONS- UND BETRIEBSKOSTEN VON BIOLOGISCHEN KLÄRANLAGEN DER CHEMISCHEN INDUSTRIE			
1. Abwassertechnische Kenndaten	E. Merck AG, Darmstadt[121)]	Farbwerke Hoechst AG[122)] - Westfabrik -	Farbenfabriken Bayer AG[123)] Wupperverband
Rohwasserzulauf	rd. 24 000 m^3/Tag	rd. 24 000 m^3/Tag	rd. 140 000 m^3/Tag
Abbauleistung	rd. 20 t BSB_5/Tag	rd. 30 t BSB_5/Tag	rd. 113 t BSB_5/Tag
Belüftung	3 Aero-Accelatoren	2 Belebungsbecken mit je 8 Vortair-Oberflächenbelüfter	2 Belebungsbecken mit 8 bzw. 6 Vortair-Oberflächenbelüfter
Überschußschlammentwässerung	Vakuumdrehfilter u. Verbrennung in Etagenofen	Vakuumdrehfilter (Verbrennung geplant)	Vakuumdrehfilter (Verbrennung geplant)
Schlammdeponie	rd. 10 t/Tag (Asche aus 1000-1400 m^3/Tag Ü.-Schlamm mit rd. 1 % Feststoffgehalt) 5 t Asche = Schlammaufbereitungszusatz	100 - 120 m^3/Tag (Filterkuchen, 20-25 % Feststoffgehalt)	rd. 600 m^3/Tag (Filterkuchen, 20-25 % Feststoffgehalt)

Tab. 72

2. Investitionskosten [124]	
Biologische Reinigung	bei 1 - stufiger Reinigung: DM 150,-bis DM 250,--/kg BSB_5 · Tag bei 2 - stufiger Reinigung: DM 180,-bis DM 280,--/kg BSB_5 · Tag
Aerobe Schlammbehandlung mit nachfolgender Entwässerung durch Chemikalien-Zusatz	DM 50,--/kg BSB_5 · Tag
Verbrennung des entwässerten Schlamms	DM 100,-bis DM 120,--/kg BSB_5 · Tag
Insgesamt	DM 200,-bis DM 400,--/kg BSB_5 · Tag
3. Betriebskosten (Strom, Dosierchemikalien, Löhne, Instandhaltung, Reparaturen, [124]	
Belebungsanlage	DM 0,06 - DM 0,15/kg BSB_5
Schlammaufbereitung	DM 0,03 - DM 0,07/kg BSB_5
Insgesamt	DM 0,09 - DM 0,17/kg BSB_5
einschließlich Amortisation und Verzinsung	DM 0,20 - DM 0,30/kg BSB_5
bei folgenden Annahmen: Strompreis = DM 0,07/kWh; Jahreslohn je Bedienungsmann = DM 15 000,--; Reparaturen und Instandhaltungen = 2 % der Gesamtinvestition; Abschreibung = 10 %; Verzinsung = 6 %	

Tab. 72 (Fortsetzung)

meinschaftskläranlage der BASF/Stadt Ludwigshafen naturgemäß noch nicht bestimmbar. Der Hinweis auf bestehende bzw. geplante Kläranlagen vergleichbarer Chemiebetriebe soll auch hier nur die Größenordnungen vermitteln helfen, mit denen bei der Abwasserreinigung zu rechnen ist. Die Gesamtkosten belaufen sich jüngeren Untersuchungen zufolge auf DM 0,40 - DM 1,50 je kg BSB_5-Abbau, allerdings ohne daß damit gleichzeitig der dominierend-anteilige Kapitaldienst besonders kenntlich gemacht worden wäre [125].

5. Abwasserreinigungskosten haben hinsichtlich ihres Stellenwertes im Gesamtkostengefüge einen grundlegenden Bedeutungswandel erfahren. Wie wir bereits sahen, spielten Abwasserreinigungskosten im Kalkül des standortsuchenden Unternehmers im 19. Jahrhundert eine nur untergeordnete Rolle. Die wasserwirtschaftlich relevante Standortproblematik beschränkte sich in jener Zeit lediglich auf die Überprüfung

---

121) Vgl. Der Hessische Minister für Landwirtschaft und Forsten, Abt. Landeskultur und Wasserwirtschaft, Wiesbaden: Jahresbericht der Wasserwirtschaft, Rechnungsjahr 1965, Einzelmaßnahmen: Die Abwasserbehandlungsanlage der Firma E. Merck AG, Darmstadt. In: Wasser und Boden. 18. Jg., Nr. 6/7/1966, S. 207 ff. und Koppernock, F.: Reinigung stark wechselnder Abwässer der pharmazeutischen Chemie bei der Merck AG. In: Chemie-Ingenieur-Technik. 40. Jg., Nr. 6/1968, S. 263 ff.

122) Vgl. Jaeschke, L. und Trobisch, K.: Halbtechnische biologische Abwasserbehandlung Kohlenwasserstoff-haltiger Produktionsabwässer. In: Chemie-Ingenieur-Technik. 38. Jg., Nr. 3/1966, S. 366 ff. und Trobisch, K. und Bauer, A.: Großanlage der Farbwerke Hoechst AG zur biologischen Reinigung von Betriebsabwässern. In: Chemie-Ingenieur-Technik. 40. Jg., Nr. 6/1968, S. 257 ff.

123) Vgl. o.V. (H.W.H.): Gemeinschaftswerk zur Reinhaltung von Rhein und Wupper. In: Wasser, Luft und Betrieb. 10. Jg., Nr. 9/1966, S. 627 f. und Weber, Hans H. und Mersch, F.: Vorarbeiten zur Gemeinschaftskläranlage der Farbenfabriken Bayer AG und des Wupperverbandes. In: Chemie-Ingenieur-Technik. 40. Jg., Nr. 6/1968, S. 272 ff.

124) Zusammenstellung aus: Heinicke, D.: Möglichkeiten und Grenzen der biologischen Reinigung von Abwässern der chemischen Industrie, a.a.O., S. 191 f.

125) Vgl. Teske, Wolfgang: Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung in der Chemischen Industrie in Deutschland, a.a.O.

a) der örtlichen Beschaffungspotentialverhältnisse und

b) der Aufnahmefähigkeit des Vorfluters bzw. der kommunalen Kanalisation.

Inzwischen haben die mit der Verwirklichung wasserrechtlicher Auflagen entstehenden Kosten einen Umfang angenommen, der sie zum unabdingbaren Bestandteil jeder Standortkalkulation macht. Für historisch gewachsene Unternehmen - wie die BASF - ergibt sich mit dieser Veränderung der regionalwirtschaftlichen Ausgangssituation ein typisches Elastizitätsproblem, das aber nicht nur im Zusammenhang mit dem sich erhöhenden Umweltbelastungseffekt des jeweiligen Chemiebetriebes gesehen werden darf, sondern ebenso Ausdruck einer sich wandelnden öffentlichen Interessenlage ist.

Der Gesetzgeber hat diesen Sachverhalt mit seinen einzelwirtschaftlichen Folgelasten durchaus erkannt und den Schritt zur abwassertechnischen Sanierung durch ein System von Steuer-, Kredit- und Bürgschaftshilfen erleichtert. Die größte Bedeutung kommt hier zweifellos den Sonderabschreibungen zu, die nach § 51 Abs. 1 Ziff. 2 Buchst. l EStG bzw. § 79 EStDV bei bereits existierenden Betrieben für "Anlagen zur Verhinderung, Beseitigung oder Verringerung von Schädigungen durch Abwässer" vorgenommen werden dürfen[126]. Die BASF hat von dieser Möglichkeit zunehmend Gebrauch gemacht (Tab. 73):

SONDERABSCHREIBUNGEN FÜR MASSNAHMEN DER BASF ZUR ABWASSERREINIGUNG

(in 1000 DM/Jahr)

1964	1965	1966	1967	1968
-	45	790	1 582	4 627

Tab. 73

126) Vgl. Einkommensteuergesetz (EStG 1969) v. 12.12.1969. BGBl I S. 2265; Einkommensteuer-Durchführungsverordnung (EStDV 1969) in der Fassung der VO vom 21.4.1970. BGBl I S. 373

Von den Finanzierungserleichterungen sind insbesondere die "ERP-Kredite für Investitionen zur Abwasserreinigung" sowie die "Bürgschaften für Kredite des Kapitalmarktes zur Finanzierung von Maßnahmen zur Abwasserreinigung" zu nennen, von deren Vergabe aber die Chemische Großindustrie wegen mangelnder finanzieller Bedürftigkeit häufig ausgeschlossen bleibt. [127) 128)].

127) Eine diesbezügliche Anfrage an das ressortmäßig für Gewässerschutzfragen zuständige "Bundesministerium für Gesundheit und Jugend" wurde vom "Bundesministerium des Innern" mit dem Hinweis beantwortet, daß "eine Aufschlüsselung der ERP-Kredite nach Branchen ... bisher nicht vorgenommen (wurde)" (schriftliche Auskunft von Dr. Dürre, Gesch.-Z. U II 2 - 321 - 9/70, v. 1.9.1970). Die Vergabepraxis hat jedoch gezeigt, daß bei den im Verhältnis zur ERP-Kreditnachfrage nur sehr begrenzt zur Verfügung stehenden Kreditmitteln das 'Kriterium der Bedürftigkeit' letztlich entscheidend werden muß und das insofern eine Wachstumsindustrie, wie die Chemische Industrie, kreditmäßig "diskriminiert" (vgl. hierzu auch o.V.: Einige Aspekte zu Finanzierungshilfen für Gewässerschutz. In: Chemische Industrie. 21. Jg., Nr. 9/1969, S. 595 f.

128) Zum Umfang der insgesamt der Industrie gewährten Finanzierungshilfen durch ERP-Kredite auf dem Gebiet des Abwasserwesens vgl. Bundesschatzministerium (Hrsg.): ERP-Kredite für die deutsche Wirtschaft. Bühl/Baden 1969, S. 103

Die Abfallstoffbeseitigung im Chemiebetrieb

4.1 Müllanfall und technische Entwicklung

4.11 Begrenzung des Untersuchungsobjekts

Im Rahmen der bisherigen Analyse konnte nachgewiesen werden, daß zur Beurteilung wasserbezogener Standortgunst nicht allein das Spannungsverhältnis zwischen betriebsindividuellem Wasserbedarf und örtlichem Beschaffungspotential gesehen werden darf, sondern auch die gegebenen Entwässerungsmöglichkeiten. Bei einem Industriezweig wie der Chemischen Industrie, zu dessen typisierenden Merkmalen nicht nur die Wasserintensität, sondern ganz allgemein die auf Stoffumwandlung ausgerichtete Produktionsweise zählt, gilt diese Art der standortpolitischen Verknüpfung notwendigerweise auch für die übrigen Komponenten des stofflichen Einsatzes. Auch hier fallen Produktionsrückstände an, mit zudem noch unterschiedlichster Konsistenz (fest, flüssig, gasförmig), für dessen einwandfreie und wirtschaftliche Beseitigung der Chemiebetrieb Sorge zu tragen hat. Da den standortabhängigen Immissionsproblemen ein gesonderter Abschnitt gewidmet ist, wird im Folgenden zunächst ein Überblick der im Chemiebetrieb anfallenden quasi-festen und - soweit nicht abwasserbezogen - auch flüssigen Abfallstoffe zu geben sein, um anschließend die sich anbietenden Abfallbeseitigungsmöglichkeiten sowohl unter dem Blickwinkel der

(1) umwelthygienischen Erfordernisse,

als auch

(2) verfahrenstechnischen Bedingtheiten

einschließlich ihrer

(3) kosteninduzierten betriebswirtschaftlichen Opportunität

zu diskutieren. Die BASF dient auch hierbei als Demonstrationsobjekt.

4.12 Zur Erfassung des kommunalen und industriellen Müllaufkommens und der Müllzusammensetzung

Die in das Standortkalkül des Chemiebetriebes mit einbezogene Abfallwirtschaft erweist sich zugleich als ein Teilaspekt volkswirtschaftlicher "Entsorgungs"-Problematik. Vor der Begrenzung des Untersuchungsgegenstandes sollen daher einige Hinweise auf die in der Bundesrepublik insgesamt anfallenden festen Abfallstoffe gegeben werden.

Die Angaben der einschlägigen Literatur sowie der hierfür zuständigen Institutionen, wie z. B. die "Zentralstelle für Abfallstoffbeseitigung des Bundesgesundheitsamtes, Berlin", beschränken sich zumeist nur auf Größenordnungen, da in der Bundesrepublik eine auf repräsentativer Basis geführte allgemeine Müllstatistik, die alle Abfallstoffarten - gleich welcher Herkunft - erfaßt und periodisch fortschreibt, bislang noch fehlt. Als Ausnahmen gelten die Auswertungsergebnisse der 1961 in Gemeinden mit 10 000 und mehr Einwohnern erstellten Statistik sowie sporadische Untersuchungen auf Gemeinde- und Länderbasis[129]. Die in Tab. 74 wiedergegebenen Werte sind daher nur als erste Orientierungsgrößen zu verstehen:

DAS MÜLLAUFKOMMEN IN DER BUNDESREPUBLIK

Abfallart	Bezugsjahr	Volumen	Gewicht	Stück
Hausmüll[130]	1966	40 Mio. m^3	16 Mio. t	-
Industriemüll[130]	1966	15 Mio. m^3	-	-
Klärschlamm[130][131]	1966	13 Mio. m^3	-	-
	1967	25 Mio. m^3	-	-
Altautos (./. Gebrauchtwagenexport[131])	1968	-	-	718 000
Altöle, Rückstände aus Tankreinigung, Öl- und Benzinabscheider[131]	1966	-	0,37 Mio. t	-
Gesamtmenge der festen Abfallstoffe (einschl. Kehricht, Bauschutt, Aushub[131])	1968	200 Mio. m^3	-	-

Tab. 74

Von den drei Hauptabfallstoffarten

Hausmüll,
Industriemüll und
Klärschlamm

läßt sich der Hausmüll rein quantitativ am sichersten abschätzen. Als personenbezogener Zivilisationsabfall bestimmt sich dessen Zusammensetzung nach dem technisch-wirtschaftlichen Entwicklungsstand eines Landes sowie - z.T. in Wechselwirkung hierzu - den Lebensgewohnheiten der Bevölkerung. Einzeluntersuchungen, die den jeweiligen Verstädterungsgrad der Bevölkerung einschließlich der regionalen Besonderheiten sowie die Jahreszeit mit ihrem Einfluß auf die Schwankungsbreite berücksichtigen und offen ausweisen, können daher kurzfristig durchaus als angenähert-repräsentativ angesehen werden. Danach liegt das durchschnittliche Müllaufkommen in der Bundesrepublik je Einwohner und Jahr in Gemeinden mit mehr als 10 000 Einwohnern bei 250 kg[132], eine Menge, die sich in Großstädten auf über 280 kg erhöhen kann[133], dagegen in ländlichen Gemeinden wesentlich niedriger

---

129) Vgl. Quidde, Fritz: Das Problem der Müllablagerungsflächen. In: Informationen (Institut für Raumforschung). 15. Jg., Nr. 7/1965, S. 235 ff.; Ferber, Michael: Menge der festen Abfallstoffe. In: Kumpf, W., Maas, K. und Straub, H. (Hrsg.): Handbuch der Müll- und Abfallbeseitigung. Band 1. Berlin Ausgabe 1969/70. Kennzahl 1740; Ferber, Kolkenbrock und Neukirchen: Müll-Anfall, Abfuhr und Beseitigung in Zahlen. Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft. Nr. 12. München 1964; Kolkenbrock, Bernhard: Müllabfuhr 1965. In: Deutscher Städtetag (Hrsg.): Statistisches Jahrbuch Deutscher Gemeinden. 54. Jg. 1966, S.156 ff. sowie Auskünfte von Herrn Dipl.-Ing. Leonhardt von der "Zentralstelle für Abfallstoffbeseitigung des Bundesgesundheitsamtes, Berlin".

130) Vgl. Der Bundesminister des Innern (Hrsg.): Empfehlungen des Beirats für Raumordnung beim Bundesminister des Innern. Folge 2. Bonn 1969, S. 72

131) Vgl. Der Bundesminister des Innern (Hrsg.): Raumordnungsbericht 1968 der Bundesregierung v. 12.3.1969. Bundestagsdrucksache V/3958, S. 26

132) Vgl. Ferber, Kolkenbrock und Neukirchen, a.a.O., S. 21

133) Vgl. Maier, Eberhard: Müllverbrennung mit Wärmeverwertung. In: Neue Kraftwerke in der Bundesrepublik. Handelsblatt - die techni-

anzusetzen ist (100 - 180 kg)[134].

Langfristig bedingen die im Müllanfall zu beachtenden Implikationen hinsichtlich des technisch-wirtschaftlichen Entwicklungsstandes einer Volkswirtschaft und der Lebensgewohnheiten der Bevölkerung potentielle Veränderungstendenzen in der Müllzusammensetzung. Tatsächlich haben in der jüngeren Vergangenheit Faktoren, wie u.a. die veränderten Heizgewohnheiten, die verpackungsintensive Produktgestaltung sowie die erhöhten Einkaufsfrequenzen bei Ver- und Gebrauchsgütern das Müllvolumen sprunghaft ansteigen lassen, dem andererseits das Müllgewicht nur in stark vermindertem Maße folgte. So stieg in West-Berlin das spezifische Müllvolumen (ohne Schlacken und Sperrmüll) von 1952 bis 1969 um rd. 280 % auf 1,22 m^3 je Einwohner und Jahr, während sich im gleichen Zeitraum das spezifische Müllgewicht nur um 80 % auf 290 kg je Einwohner und Jahr erhöhte[135].

Auch bei einer zeitpunktbezogenen Betrachtung ergaben sich für das Müllvolumen mit steigender Gemeindegrößenklasse wesentlich höhere Zuwächse als beim Müllgewicht. Die Schwankungsbreite lag hier bei Gemeinden mit 10 000 und mehr Einwohnern 1961 zwischen 80 % und 130 % des Gesamtmittelwerts (= 749 l/EJ)[136].

Trotzdem bleibt festzuhalten, daß den Veränderungstendenzen durch die Grundstruktur der menschlichen Lebenshaltung auch Grenzen gesetzt sind. Darüber hinaus führt die Mischung vieler Einzelsubstanzen im Hausmüll zu einem Eigenschaftsprofil mit geringen Schwankungsbreiten (Tab. 75).

---

sche Linie. 22. Jg., Nr. 8 v. 19.2.1969, S. 24 (Beilage zum Handelsblatt. 24. Jg., Nr. 35 v. 19.2.1969)

134) Vgl. Straub, Hans: Die Beseitigung der festen Abfallstoffe von Gemeinden und der Industrie. Gutachten für das Bundesministerium für Atomkernenergie, Bad Godesberg. Vervielfältigtes Manuskript 1961, S. 12

135) Nach Angaben der Berliner Stadtreinigung, Abteilung Müllverbrennung.

136) Vgl. Ferber, Kolkenbrock und Neukirchen, a.a.O., S. 24

DURCHSCHNITTLICHE ZUSAMMENSETZUNG DES WEST-BERLINER HAUSMÜLLS [137]
(Gewog. Mittel in Gew.% pro Jahr)

Bestandteile	1963	1972/73 (vorauss.)
Papier, Pappe	18,7	24,6
Textilien	1,8	2,5
Pflanzliche Stoffe	18,2	16,1
Brot	0,7	0,7
Knochen	1,0	0,9
Sonstige org. Stoffe	1,3	1,7
Kunststoffe	0,9	1,1
Gemisch 5 - 20 mm	8,3	7,4
Heizungsschlacke > 5 mm	3,2	3,2
Buntmetall	0,4	0,4
Flaschen u. sonst. Glasgefäße	6,8	6,9
Glasscherben	3,0	1,9
Sonstige anorg. Stoffe	4,3	3,5
Konservendosen	4,7	4,8
Sonst. Eisenschrott	0,2	0,1
Feinelemente 0 - 5 mm	24,2	21,6
Heizungsschlacke < 5 mm	2,3	2,6
	100	100

Tab. 75

Anders beim Industriemüll: Seine Zusammensetzung richtet sich nach der im Einzelfall vorliegenden spezifischen Produktionsaufgabe, so daß generelle Aussagen hinsichtlich Zusammensetzung, Volumen und Gewicht nicht gemacht werden können. Mit Ausnahme der belegschaftsbedingten hausmüllähnlichen Abfälle herrschen wechselnd-spezifische Eigenschaften vor. Kommunale Entsorgungseinrichtungen können nur insoweit in Anspruch genommen werden, wie für die schadlose Beseitigung nicht zusätzliche Sicherungsmaßnahmen erforderlich sind bzw. die Größenordnung des betrieblichen Müllanfalls die Transport- und Beseitigungskapazitäten der Gebietskörperschaft übersteigt. Vor diesem

137) Entnommen aus: Knoll, E.: Planung der Müllverbrennungs- und Müllsinteranlage Berlin-Ruhleben. In: Mitteilungen der Vereinigung der Großkesselbesitzer (VGB). 45. Jg., Nr. 96/1965, S. 220

Hintergrund muß die statistische Erfassung oder besser: Abschätzung des industriellen Müllaufkommens entsprechend unsicher ausfallen. Der in Tab. 74 angegebene Wert relativiert sich damit von selbst.

Der Klärschlamm schließlich bezieht sich von vornherein nur auf kommunale Abwasserreinigungsanlagen und läßt die industriellen Verhältnisse außer Ansatz. Darüber hinaus fehlen Hinweise auf die das Volumen beeinflussenden Rahmenbedingungen, wie z. B. die Art des Schlammanfalls (Absetzgruben, Überschußschlamm aus Belebungsanlagen) und die Entwässerungstechnik, so daß auch hier starke Vorbehalte hinsichtlich der Aussagekraft dieser Werte bestehen.

4.13 Kategorien chemiebetrieblicher Abfallstoffe

Für die Frage nach den im Chemiebetrieb anfallenden Abfallstoffen und deren Beseitigungsmöglichkeiten am jeweiligen Standort erscheint es notwendig, zunächst den etwas pauschal verwendeten Begriff "Industriemüll" inhaltlich zu bestimmen. Er umfaßt die in der Regel wirtschaftlich nicht mehr verwertbaren Substanzen, für deren Beseitigung die Verfahren der Abwasserreinigung und die des Immissionsschutzes entweder von vornherein ausscheiden oder nur Zwischenmaßnahmen sein können. Diese im Gegensatz zur reinen Enumeration am Kriterium der umwelthygienischen Schadlosmachung orientierte Negativ-Definition soll bereits die äußerst heterogene Zusammensetzung der möglichen Abfallstoffe andeuten.

Als Kategorien lassen sich unterscheiden

1. Allgemeiner Werkmüll,
2. Rückstände aus der chemischen Produktion,
3. Abbruchmaterialien und
4. Klärschlämme.

Den relativ geringsten Chemiebranchenbezug hat hiervon der Allgemeine Werkmüll, da unter diesem Oberbegriff zunächst einmal die in allen Industriebetrieben anfallenden hausmüllähnlichen Abfälle, wie Kehricht, Papier, Schrott, Abfälle aus Werksküchen, Verpackungsma-

terialien u. ä. zusammengefaßt werden. Lediglich der hohe Kunststoffanteil (BASF ≈ 30 %) durch Abfälle aus technischen Versuchsanstalten und z. T. auch Produktionsbetrieben sowie Fehlchargen, Kontaktreste und Sperrmüll in Gestalt von Filterrahmen u. dgl. weisen auf die spezifischen Produktionsbedingungen hin.

Der chemiebetriebliche Bezugsrahmen kommt am deutlichsten in der zweiten Kategorie, den Rückständen aus der chemischen Produktion zum Ausdruck. Das Spektrum der hier angesprochenen Abfälle reicht von Lösungsmittel- und Destillationsrückständen in pumpfähiger und nichtpumpfähiger Form über Neutralisations- und Fällungsschlämmen bis hin zu Filter- und Farbstoffrückständen sowie Industrieschlacken und Verbrennungsrückständen. Es umfaßt mithin Stoffe jeder nur denkbaren physikalischen Konsistenz (fest, staubförmig, pastenartig, schlammig und flüssig); die chemische Zusammensetzung repräsentiert bei der breiten Produktionspalette der chemischen Großbetriebe praktisch das gesamte Gebiet der organischen und anorganischen Chemie (aliphatische und cyclische Kohlenwasserstoffe einschließlich ihrer Derivate, anorganische Stoffe mit überwiegend inertem Charakter). Darüber hinaus ist ein ständiger Wandel in der relativen Zusammensetzung des Müllaufkommens infolge produktionswirtschaftlicher Dynamik zu beobachten (Petrochemie!).

Der wirtschaftlich induzierte Zwang zur Kapazitätsausweitung und/oder Produktions- bzw. Verfahrensumstellung ist es auch, der zu entsprechenden Baumaßnahmen führt, in deren Verlauf Abfallstoffe der dritten Kategorie in beträchtlichen Größenordnungen anfallen, wie Abbruchmaterialien einschließlich Bauschutt und Erdaushub, u. U. vermischt mit Holz und Isolierstoffen.

Die noch verbleibende Kategorie Klärschlamm ist für den chemieindustriellen Sektor erst relativ jüngeren Datums, da vom Betrieb biologischer Abwasserreinigung abhängig. Der Umfang der von der chemischen Industrie auf diesem Gebiet unternommenen Anstrengungen bzw. geplanten Maßnahmen läßt jedoch die zunehmende Bedeutung des Schlammproblems im Rahmen der Abfallwirtschaft erkennen.

ABFALLSTOFFE DER BASF					
1967			1969		
Abfallart	Menge	Beseitigung bzw. Verbleib	Abfallart	Menge	Beseitigung bzw. Verbleib
1. Bauschutt	211 000 t	Deponie	1. Bauaushub und Abbruchmaterial	167 200 t	Deponie (Feuerberg)
2. Baugrubenaushub	20 000 t	Deponie bzw. Grubenauffüllung	2. Bauaushub und Abbruchmaterial (Raumgewicht: 1,6 t/m^3)	152 300 t	Deponie (Flotzgrün)
3. Schrott (Eisen)	47 000 t	Verkauf	3. Schrott, Eisen, NE-Metalle	48 820 t 1 000 t	Verkauf
4. Betriebsrückstände a) nicht brennbar	86 000 t	Deponie	4. Festmüll und Betriebsrückstände (Raumgewicht: 0,1-1,0 t/m^3)	205 500 t	Deponie (Flotzgrün)
b) Schlammrückstände (Abwassergruben, anorg. Schlämme)	27 000 t	Deponie			
c) brennbarer Werkmüll	28 800 t	je 50 % Deponie u. Müllverbrennung			
d) Schlacke, Asche	53 000 t	Verkauf (Baustoffindustrie)	5. Schlacken	33 200 t	Verkauf (Baustoffindustrie)
e) Chem. Rückstände, brennbar	21 600 t	Müllverbrennung	6. Chem. Rückstände, brennbar	33 300 t	Müllverbrennung
	494 400 t			641 320 t	

Tab. 76

er empirische Nachweis von Abfallstoffen im Chemiebetrieb sowie im ranchenvergleich nach o.a. Gruppierung ist insofern erschwert, als r die Kriterien der statistischen Erfassung - im Gegensatz zur Wasser- ersorgung und Abwasserreinigung - noch kein allgemeiner Konsensus rzielt werden konnte. Bestimmend sind daher fast ausschließlich b e - r i e b s i n d i v i d u e l l e Zweckmäßigkeitserwägungen, wie im Falle der ASF die jeweils gegebenen und im Zeitablauf je Kategorie unterschied- ch genutzten Beseitigungsmöglichkeiten (Tab. 76).

.2 Möglichkeiten und Grenzen der Abfallstoffbeseitigung im Chemiebetrieb

.21 Überblick

er Zwang zur Beseitigung von Abfallstoffen ist für den Chemiebetrieb on jeher als im besonderen Maße raumbezogen aufgefaßt worden. An- ers als bei dem mit Fremdstoffen beladenen Abwasser, das der freien lutwelle mehr oder weniger unbedenklich anvertraut werden konnte, chied eine derartige "natürliche" Entsorgungsmöglichkeit bei festen bfallstoffen und bestimmten Abwasser- bzw. Abluftbestandteilen von ornherein aus.

chtbar gewordene Rückstände, für die keine wirtschaftlich vertretbare erwendungsmöglichkeit mehr besteht, senken bei ihrem Verbleib im hemiebetrieb als raumintensive Materialien die betriebsraumbezogene pezifische Ertragskraft des Unternehmens. Die Bemühungen um Che- iemüllbeseitigung äußern sich daher folgerichtig zunächst im Abtrans- ort der festen Abfallstoffe sowie der nicht dem Vorfluter zuzuführenden w. in die freie Atmosphäre ableitbaren Rückstände und ihre Ablagerung ußerhalb des Werksgeländes. Mit einer echten Abfallbeseitigung hat die- e Form der chemiebetrieblichen Entsorgung allerdings solange nichts tun, bis nicht durch vorherige physikalisch-chemische oder biologi- he Umwandlung der Abfallstoffe und andere Schutzmaßnahmen auch die gienischen Anforderungen der unmittelbar betroffenen Umwelt berück-

sichtigt werden. Als Verfahrensprinzip bietet sich daher die geordnete und kontrollierte Deponie an.

Betriebsraumbezogene Wirtschaftlichkeitsüberlegungen lassen neben der schadlosen Ablagerung auch die Volumenreduzierung der Abfallstoffe als vordringliche Aufgabe erscheinen. Bei Entflammbarkeit des Materials wird dieses Ziel zweifellos am wirkungsvollsten durch Verbrennen zu erreichen sein, im übrigen ein Verfahrensprinzip, das bei gleichzeitiger Wärmeverwertung die Wirtschaftlichkeit der Abfallbeseitigung verbessern hilft. Auch hier fallen Rückstände an in Form von Schlacken, Flugasche und Verbrennungsgasen, die bei unkontrollierter Ablagerung bzw. ungehindertem Entweichen in die Atmosphäre die Umwelthygiene unmittelbar beeinträchtigen, so daß auch hier vom Chemiebetrieb Maßnahmen getroffen werden müssen, die einen derartigen Belastungseffekt in definierbaren Grenzen hält.

Das Bemühen um schadlose Wiedereingliederung von Abfallstoffen in den natürlichen Kreislauf kommt auch in dem Verfahren der Kompostierung, d.h. der Aufbereitung von Abfällen zu einem hygienisch einwandfreien Humus, zum Ausdruck. Störende Beimengungen im Chemiemüll, wie z.B. Gifte in schädlichen Konzentrationen, unverrottbare Kunststoffreste setzen der Anwendungsmöglichkeit jedoch enge Grenzen.

Schließlich sei noch auf das Versenken von Abfallstoffen in das offene Meer hingewiesen. Abgesehen davon, daß es sich hier nur um eine Verschiebung des Umweltbelastungseffekts in Regionen handelt, für die er z.Zt. noch als vergleichsweise gering erachtet wird, so scheidet diese Form chemiebetrieblicher Entsorgung bei den o.g. Größenordnungen im Müllanfall als grundsätzliche Lösung allein wegen der entsprechenden Transportkostenbelastung von vornherein aus.

Somit sind die "geordnete Deponie" und die "Verbrennung" als die von der Chemischen Industrie hauptsächlich genutzten Abfallbeseitigungsmöglichkeiten anzusehen. Sie sind es auch, auf die sich die weiteren Erörterungen am Beispiel der BASF beschränken.

4.22 Abfallstoffbeseitigung durch Verbrennen

4.221 Abfallerfassung und -sammlung

Das betriebliche Entsorgungsproblem stellt sich zunächst als ein reines Transportproblem dar. Die vom Leistungsprogramm chemischer Großbetriebe her bestimmte Vielzahl von Produktions-, Forschungs- und Verwaltungsbauten auf ausgedehnten Flächen (BASF: 15 000 Bauten auf 5,6 km^2) führt innerhalb des Werksgeländes zu einem entsprechend räumlich-dispers verteilten Müllanfall. Dieser, für alle Kategorien des betrieblichen Müllaufkommens gleichermaßen geltende Tatbestand zwingt zu erheblichen Transportleistungen. Bei den zur Verbrennung bestimmten Abfallstoffen können sie sich insofern noch erhöhen, da für den Standort der Müllverbrennungsanlage außer Transportüberlegungen auch Sicherheitsfragen maßgebend sind; die aber schreiben - wie im Falle der BASF - eine mehr periphere Lage vor (Abb. 121).

Zur Erfassung der brennbaren Abfälle ist das Werksgelände der BASF in 290 Ordnungsbezirke eingeteilt, in denen jeweils Betriebsführer und Ordnungsmeister für die sachgerechte Erfassung und Trennung der Müllkomponenten verantwortlich sind. Die Abfälle selbst werden an insgesamt 350 Stellen in geschlossenen Mulden von 3 - 5 m^3 Inhalt gesammelt und von dort fast täglich mit Spezial-LkW (Meiller-Kipper) zu dem - aus Sicherheitsgründen - offenen und mit festmontierten Wasserwerfern leicht bestreichbaren Grabenbunker der Müllverbrennungsanlage von 3 m Tiefe und 5000 m^3 Fassungsvermögen abgefahren.

Diese, zumeist auf den allgemeinen Werksmüll bezogene Verfahrensweise, kann für Rückstände aus der chemischen Produktion nicht ohne weiteres übernommen werden. Hier ist es vielmehr notwendig, jede Abfallprobe im Anlieferungszustand auf ihre mögliche Gefährdung des Bedienungspersonals bzw. Beeinträchtigung des Verbrennungsvorganges hin zu untersuchen und die entsprechenden physikalischen und chemischen Daten auf einer Laufkarte festzuhalten. Das Ergebnis entscheidet über das Einhalten besonderer Schutzmaßnahmen (Atemschutzgeräte, Schutzkleidung usw.)

und/oder Freigabe zur Verbrennung. Neben der Entflammbarkeit, dem Brennverhalten, der Ätzwirkung und Toxizität sind das insbesondere der Heizwert, Aschengehalt, Wassergehalt und die Mischbarkeit mit anderen Abfällen, mithin Daten, die allein bei festen Abfallstoffen erheblich streuen können (Tab. 77):

GRENZWERTE DER EIGENSCHAFTEN VON FESTEN ABFÄLLEN[138)]

Eigenschaft	Einheit	Minimum	Maximum
Raumgewicht	kg/m^3	100	1 200
Wassergehalt	Gew.-%	5	70
Aschengehalt	Gew.-%	10	95
Heizwert	kcal/kg	0	10 000
Stückgröße		Staub	Sperrgut

Tab. 77

Bei Flüssigkeiten bestimmt sich die Art der Anlieferung nach ihrer Pumpfähigkeit. Während verunreinigte, aber gut pumpfähige Rückstände in Kesselwagen oder - wie bei Altölen aus Werkstätten und Ölabscheidern - in Fässern bzw. Saugwagen angeliefert werden, um sie bis zur Verbrennung in hochstehende Tanks abzulagern (Abb. 78), entfällt diese Möglichkeit bei zähflüssigen Stoffen. Ein Beispiel hierfür geben die Destillationsrückstände, die bei Temperaturen von über 150°C flüssig anfallen, bei Raumtemperatur jedoch zu erstarren pflegen. Für derartige Konsistenzverhältnisse stehen - je nach Bedarf - heizbare und transportable Druckbehälter von 1 - 5 m^3 Fassungsvermögen zur Verfügung, die ihren Inhalt durch Anschluß an 10 atü - Stickstoff - Druckleitungen unmittelbar in den Verbrennungsraum abgeben können (Abb. 78). Saubere, d.h. chlor-, schwefel- und feststofffreie sowie pumpfähige flüssige Rückstände werden direkt den Verbrennungsräumen der Kraftwerke zugeleitet. Die Anlieferung von nicht pumpfähigen Rückständen erfolgt in (verlorenen) Gebinden, wie Kannen, Trommeln, Hobbocks usw.

---

138) Vgl. Rasch, Rudolf: Müll- und Abfallverbrennung. In: Chemiker-Zeitung/Chemische Apparatur/Verfahrenstechnik. 93. Jg., Nr. 10/1969, S. 372

4.222 Zum Betrieb von Müllverbrennungsanlagen

Als Hauptaufgabe der Chemiemüllverbrennung kann

1. die Überführung der nicht ohne weiteres ablagerungsfähigen Stoffe in eine von umwelthygienisch bedenklichen Beimengungen möglichst freie Asche bzw. Schlacke bei
2. gleichzeitiger Verminderung des Volumens

angesehen werden. Hinter dieser lapidaren Forderung verbirgt sich zugleich ein Bündel technisch nur schwer lösbarer Probleme, deren Beherrschung aber letztlich entscheidend ist für die Effizienz betrieblicher Abfallwirtschaft.

MÜLLVERBRENNUNGSANLAGE
(Tanklager für Flüssigabfälle)

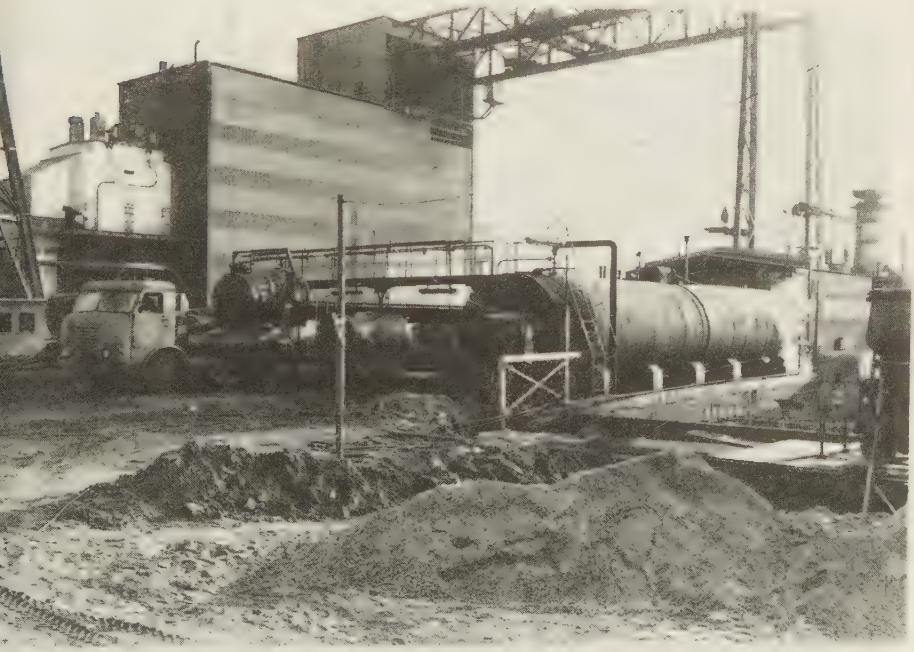
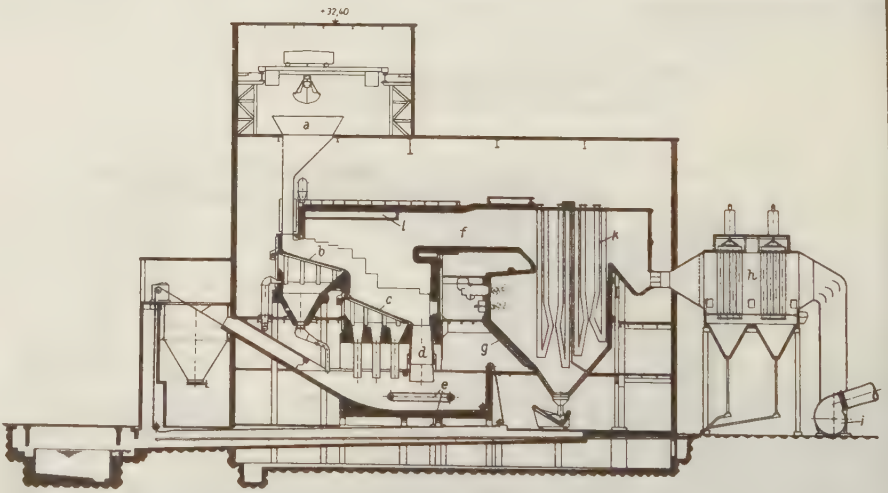


Abb. 78

Es beginnt bereits mit der Frage nach dem für chemiebetriebliche Abfallstoffe geeigneten Verbrennungssystem: Bis Mitte der 50er Jahre - dem Beginn der BASF-Planungen auf diesem Gebiet - gab es für die umwelthygienisch einwandfreie Verbrennung von Chemiemüll noch kein Vorbild. Lediglich im kommunalen Bereich, wo diese Form der Müllbeseitigung schon seit Jahrzehnten betrieben wurde, lagen entsprechende Erfahrungen vor. Es war für die BASF daher naheliegend, nach ersten Versuchen mit einem Schachtofen, der praktisch nur aus

MÜLLVERBRENNUNGSANLAGE DER BASF [139]
(Rostofen, Längsschnitt, vereinfacht)



a Aufgabebunker
b Vortrocknungsrost
c Hauptverbrennungsrost
d Schlackengenerator
e Schlackenaustragband
f Übergang vom Ofen zum Abwärmekessel
g Verbrennungskammer für flüssigen Müll
h Elektrofilter zur Reinigung der Rauchgase
i Saugzug
k Schottenheizfläche
l Vorwärmer

Abb. 79

139) Mit frdl. Genehmigung des Verlags Chemie GmbH, Weinheim/Bergstr. entnommen aus Frank, B.: Erfahrungen mit der Verbrennung von Industrie-Abfällen in der BASF. In: Chemie-Ingenieur-Technik. 36. Jg., Nr. 11/1964, S. 1099

einem ausgemauerten stehenden Rohr von 1,4 m Durchmesser und 10 m Höhe bestand und ohne Wärmeausnutzung betrieben wurde sowie mit einem abbruchreifen, ursprünglich zur Kiesabröstung eingesetzten Drehrohrofen der Schwefelsäurefabrik, sich zunächst für ein Verbrennungssystem zu entscheiden, das mit seinen Elementen 'beweglicher Treppenrost', 'kontinuierliche Beschickung und Entschlackung', 'Abhitzekessel' sowie 'Verbrennungskammer für flüssige Abfälle' noch weitgehend den von der Stadtmüllverbrennung her bekannten Verfahrensprinzipien entsprach (Abb. 79 u. 80).

Die Anlage ging 1960 in Betrieb und war mit der vorgesehenen maximalen Durchsatzmenge von 8,36 t/h oder 200 tato Müll den damaligen kapazitiven Forderungen des brennbaren BASF-Müllanfalls angepaßt. Die Andersartigkeit im Brennverhalten von Hausmüll und chemiebetriebli-

MÜLLVERBRENNUNGSANLAGE
(Gesamtansicht)

Abb. 80

chen Abfällen führte jedoch bald zu Schwierigkeiten, mit denen die BASF bis heute nur z. T. durch konstruktive Änderungen bzw. modifizierte Fahrweise fertig werden konnte.

So bestätigten die Betriebserfahrungen, daß für die Auslegung der Roste, Feuerräume sowie der nachgeschalteten Heizflächen weniger die rein quantitativ-mechanischen als vielmehr thermischen Belastungsgrößen maßgebend sind. Aus der für diesen Ofentyp mit $15 \cdot 10^6$ kcal/h angegebenen Begrenzung der insgesamt freizumachenden Wärmemenge ist nämlich zu folgern, daß bei quantitativer Kapazitätsauslastung der Durchschnittsheizwert von 1800 kcal/kg nicht überschritten werden darf, abgesehen von kurzzeitigen Spitzen mit höchstens 2500 kcal/kg. Die heterogene Müllstruktur sowie insbesondere der wechselnd hohe Kunststoffanteil verursachen jedoch erhebliche Schwankungsbreiten der Tagesdurchschnittsheizwerte (Tab. 81), so daß sich die o. g. Forderung nach begrenzter thermischer Belastung nur über eine Reduzierung des jeweiligen Mengendurchsatzes auf zeitweise 1/3 der Kapazität verwirklichen läßt. Eine zum Ausgleich der Heizwertschwankungen teilweise bis zu 50 % vorgenommene Beimischung von kalorienarmem Ludwigshafener Stadtmüll mußte bereits ab 1964 wegen entstehender Fehlkapazitäten wieder aufgegeben werden.

HEIZWERT-MITTELWERTE UND VOLUMENVERMINDERUNG BEI DER VERBRENNUNG VON BASF-FESTMÜLL

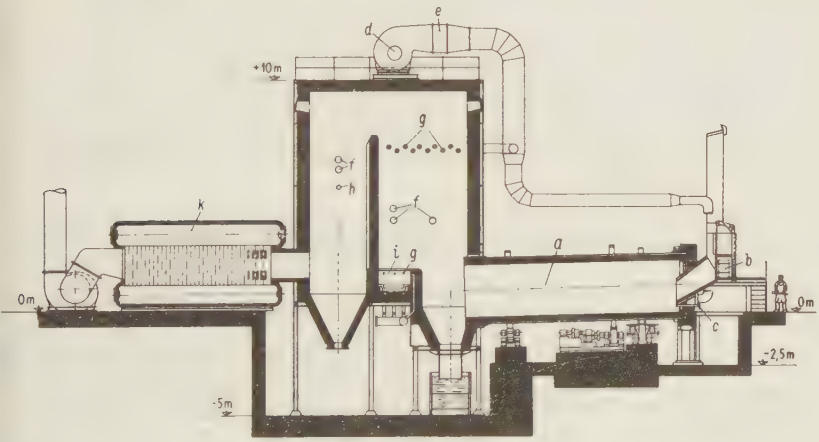
	1964	1965	1966	1967	1968
1. Heizwerte (kcal/kg)					
Jahresmittelwert	2770	2840	3120	2760	3105
Niedrigster Tagesmittelwert	2000	1650	1920	1220	1720
Höchster Tagesmittelwert	3800	4270	4700	5440	4650
2. Volumenverminderung (Schlacke in % der Müllmenge)	20	17	20	23	20

Tab. 81

Kunststoffabfälle und andere Fabrikationsrückstände mit fester und teigiger Konsistenz sind aber nicht nur für die hohen Heizwerte sowie den damit verbundenen hohen Temperaturen und örtlichen Überhitzungen verant-

ortlich zu machen, sie verursachen darüber hinaus auch mit ihrem chlackenfluß z. T. erhebliche Betriebsstörungen: Sei es, daß durch erstopfung der Roststäbe die für eine gleichmäßige Verbrennung notendige Luftzufuhr unterbunden wird, sei es, daß durch Schlackenfluß n den Ofenwänden Abzehrungen des Mauerwerks auftreten, immer entstehen hierdurch reparaturbedingte Stillstandszeiten, die bei gleichzeiigem Fortfall einer Wärmeverwertung die Wirtschaftlichkeit der Abfallstoffbeseitigung erheblich senken [140].

MÜLLVERBRENNUNGSANLAGE DER BASF [141]
(Drehrohrofen, Längsschnitt, vereinfacht)



Drehtrommel
Faßaufgabe mit Entlüftungsrohr
Aufgabe für flüssige Rückstände
Frischluftgebläse
Luftvorwärmer
f Ölbrenner
g Zweitlufteinlaß
h Schmutzwasserdüse
i Wannen für Wasser/Öl-Gemische
k Package-Kessel mit Saugzuggebläse

Abb. 82

140) So konnten 1964 von der (theoretisch) maximal möglichen Betriebszeit (= 8760 h/a) nur 3900, 1968 immerhin schon 6018 h genutzt werden.

141) Mit frdl. Genehmigung des Verlags Chemie GmbH, Weinheim/Bergstr. entnommen aus: Frank, B.: Erfahrungen mit der Verbrennung von Industrieabfällen in der BASF, a.a.O., S. 1100

Derartige Überlegungen sowie die Forderung nach einem für alle Konsistenzen gleichermaßen geeigneten Verbrennungssystem haben in der BASF dazu geführt, die im Jahre 1964 bereits ausgelasteten Kapazitäten nicht um eine weitere Rostanlage, sondern um zwei Drehofeneinheiten zu ergänzen, bestehend aus je einer Drehtrommel, Nachverbrennungskammer mit wahlweise betriebenen Flüssigkeitsbrennern und Abhitzekessel sowie einer gemeinsamen Rauchgasableitung (Abb. 82). Mit einem Tagesdurchsatz von zusammen 50 tato bei einem Heizwert von 5000 - 10 000 kcal/kg entlasten sie die Rostanlage spürbar von heizwertintensiven Chemieabfällen[142]. Wegen der zunehmenden Bedeutung gerade dieser Abfallkategorie ist inzwischen (1969/70) eine weitere Drehofeneinheit erstellt worden. Andererseits soll die Verbrennung von Festmüll einschließlich der deponiefähigen Kunststoffreste in der Rostanlage zugunsten der billigeren Ablagerung völlig eingestellt werden, um auch hierdurch zusätzliche Kapazitäten für die Beseitigung flüssiger Abfallstoffe zu schaffen.

Danach ergibt sich für die BASF als zukünftige Abfallbeseitigungsregel, daß

(1) flüssige und teigige Rückstände sowie schädliche Substanzen in der Müllverbrennungsanlage vernichtet bzw. mit ihrem Volumen auf sterile und ablagerungsfähige Schlacke reduziert werden, während

(2) feste und in ihrer potentiellen Schadwirkung durch geordnete Deponie beherrschbare Abfallstoffe der Ablagerung auf Flotzgrün vorbehalten bleiben.

Schließlich sei noch auf ein besonderes Problem hingewiesen, daß sich bei allen Müllverbrennungsanlagen mit Wärmeverwertung zwangsläufig einstellt: das Problem der rauchgasseitigen Heizflächenkorrosion an den Abhitzekesseln. Auslösendes Moment hierfür sind u.a. Chlorkomponenten im Rauchgas (Cl, Cl_2, HCl), die sich bei reduzierender Atmosphäre

142) Höher chlorierte flüssige oder gasförmige Kohlenwasserstoffe werden in einer speziell hierfür vorgesehenen Anlage verbrannt.

zw. einer durch Rußflocken, nichtausgebrannten Strähnen usw. gege-
enen lokalen Reduktionsmöglichkeit mit dem Eisen des Wärmeaustau-
chermaterials zum hochtemperaturflüchtigen Eisen-II-chlorid verbin-
en und damit Rohrabzehrungen verursachen. Trotz des hohen und wei-
er zunehmenden Anteils an PVC-Abfällen bzw. flüssigen chlorierten
Kohlenwasserstoffen im Chemiemüll konnte die BASF durch

- Homogenisierung des Mülls und der damit erzielten gleichmäßi-
  geren Verbrennung sowie durch
- oxidierende Fahrweise und
- Begrenzung der Dampfüberhitzungstemperatur [143)]

die potentiellen Schadwirkungen der Chlorwasserstoffkorrosion beherrsch-
bar machen. Positiv wirkte sich auch die Trennung von Verbrennungs-
ofen und Abhitzekessel aus - ein heute zwar veraltetes Konstruktions-
prinzip, das aber andererseits die wünschenswerte Durchmischung der
Rauchgase bereits vor Eintritt in den Kessel gewährleistet.

Dagegen haben sowohl die aus Gummi und anderen organischen Abfällen
stammenden Schwefelverbindungen über die Bildung komplexer Eisen-
Alkali-Sulfate als auch die erodierende Wirkung der Rauchgase zu ver-
stärkten Korrosionen an den Berührungsheizflächen bzw. den quer zum
Rauchgasstrom liegenden Bauelementen geführt und die BASF in der
Vergangenheit zu einer konstruktiven Veränderung der Heizflächenan-
ordnung gezwungen.

Mit der Verbrennung einer bestimmten Kategorie von Abfallstoffen er-
schöpft sich nicht das chemiebetriebliche Entsorgungsproblem. Der
Verbrennungsprozeß hinterläßt vielmehr Rückstände in Gestalt von
Schlacken und Flugasche und verursacht staub- und gasförmige Emissio-
nen, deren umwelthygienischer Belastungseffekt vom Chemiebetrieb eben-
falls in definierbaren Grenzen zu halten ist - mithin ein Problem, das
noch im Zusammenhang mit der Ablagerung fester Abfallstoffe bzw. den
Fragen des betrieblichen Immissionsschutzes zu erörtern ist.

---

143) 1 t Müll = 3,4 t Dampf von 20 at und 280 °C, Rohrwandtemperatur =
max. 350 °C.

4.23 Abfallstoffbeseitigung durch Ablagern

4.231 Abfallerfassung und -sammlung

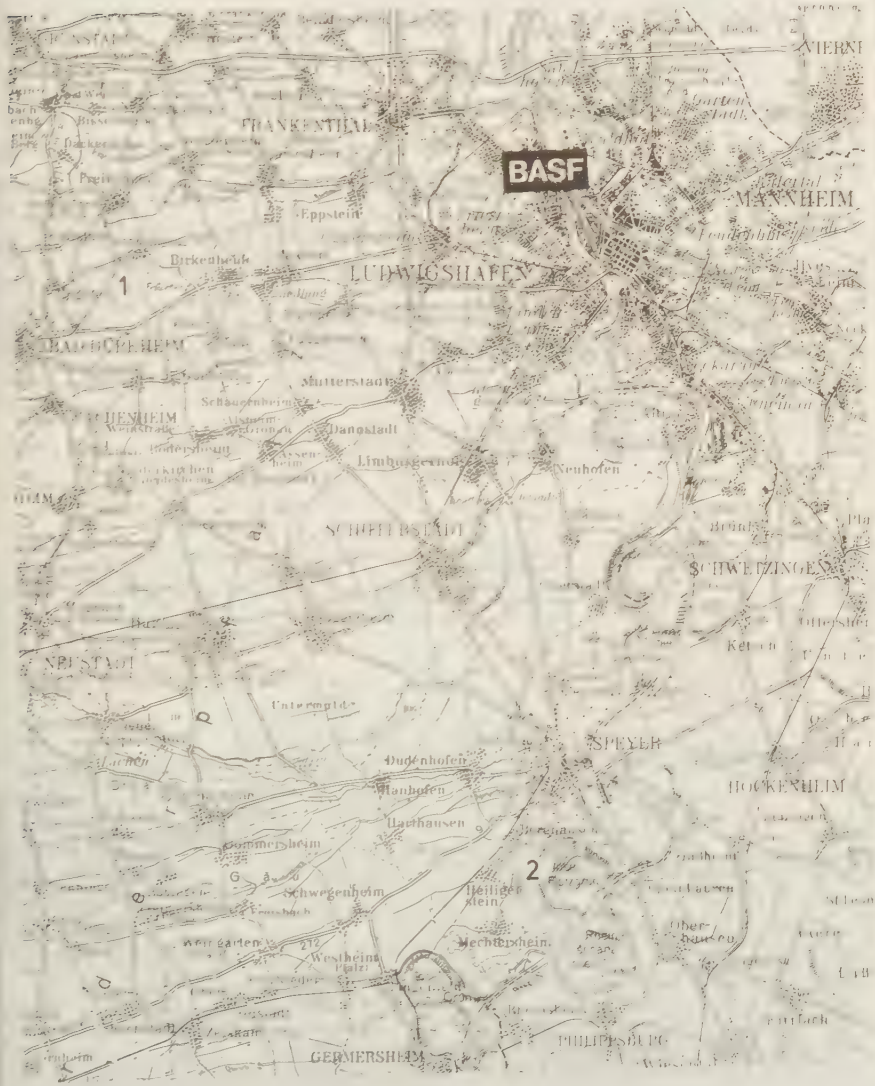
Die bereits im Zusammenhang mit der Müllverbrennung getroffene Feststellung, daß vor der eigentlichen Abfallstoffbeseitigung erhebliche Transportleistungen zu erbringen sind, gilt auch für die deponiefähigen Abfallstoffe. Allerdings bestimmen sich die bereitzustellenden Transportkapazitäten hier nicht allein

- nach Maßgabe eines betriebsräumlich-dispersen Müllanfalls von zudem noch wechselnder Intensität, sondern vor allem
- durch das im Verhältnis zum brennbaren Werksmüll um Größenordnungen vermehrte Müllaufkommen bei gleichfalls erhöhtem Raumgewicht (Tab. 76) sowie
- durch den Zwang zur Deponieanlieferung außerhalb des Werksgeländes.

Eine von Verfahrensumstellungen und Kapazitätsausweitungen ausgelöste rege Bautätigkeit und der damit verbundene Anfall von Bau- und Isolierschutt, Abbruch- und Aushubmaterial sowie die schrittweise Einstellung der Verbrennung von Festmüll haben in der BASF die Gesamtmenge deponiefähiger Abfallstoffe auf inzwischen (1969) über 500 000 jato ansteigen lassen. Nachdem in der Vergangenheit derartige Stoffe befristet im Werksgelände und später auf der kommunalen Müllkippe "Maudacher Bruch" abgelagert wurden, stehen heute der BASF sowohl am Feuerberg bei Bad Dürkheim als auch auf einer durch die Rheinregulierung bei Speyer entstandenen Insel Flotzgrün Ablagerungsflächen zur Verfügung, die mit ihrer Ausdehnung noch auf Jahrzehnte den deponiefähigen Werksmüll aufnehmen können (Abb. 83).

Sowohl von der gegenwärtigen Kapazität als auch den künftigen Ausdehnungsmöglichkeiten kommt der Deponie Flotzgrün die größte Bedeutung zu. Darüber hinaus eignen sich die hier zur Ablagerung gelangenden heterogenen Müllkomponenten vergleichsweise besser zur Diskussion po-

GEOGRAPHISCHE LAGE DER BASF-MÜLLDEPONIEN
"FLOTZGRÜN" UND "FEUERBERG"



1: Deponie "Feuerberg" 2: Deponie "Flotzgrün"

Abb. 83

tentieller Umweltbelastungseffekte als der relativ problemlose, da ausschließlich aus Bauschutt und Baugrubenaushub bestehende Müll der Deponie Feuerberg. Die weiteren Erörterungen beziehen sich daher vornehmlich auf die mit der Sammlung, dem Transport sowie der schadlosen Ablagerung auf Flotzgrün zusammenhängenden Probleme.

Im Gegensatz zur Deponie Feuerberg, deren "Belieferung" per LKW erfolgt, ist die Altrheininsel Flotzgrün nur auf dem Wasserweg erreichbar. Die in den Betrieben anfallenden deponiefähigen Abfallstoffe müssen daher zunächst einer Zwischenlagerstelle zugeführt werden, die mit ihrer Ausdehnung nicht nur den täglichen Müllanfall einschließlich der wegen extrem hoher oder niedriger Wasserstände, Eisgang bzw. Nebel zeitweise nicht abzufahrenden Müllmengen aufzunehmen vermag, sondern darüber hinaus auch noch deponietechnische Manipulationen zuläßt. So

MÜLLSAMMELPLATZ WERK LUDWIGSHAFEN
(Zwischendeponie)

Abb. 84

rfordert der im einzelnen noch zu erörternde "geordnete und kontrol-
ierte Deponiebetrieb" u.a. die schichtweise Ablagerung einzelner Müll-
komponenten, so daß dem jeweiligen Abruf eine getrennte Zwischenla-
gerung voranzugehen hat. Hinzu kommt, daß eine gleichmäßige Lage-
rungsdichte von Rückstandsarten mit unterschiedlicher Korn- bzw.
Stückgröße erst nach entsprechender Durchmischung bereits auf der
Umschlagsanlage erreicht werden kann.

Die innerhalb des Werks und unmittelbar am Rheinufer angelegte Zwi-
schenlagerstelle der BASF verfügt mit 10 000 m^2 über ausreichende
Pufferkapazitäten. Die aus den Betrieben mit LKW und Spezialfahrzeugen
angelieferten Abfallstoffe von täglich rd. 1500 t werden hier getrennt
nach Bauschutt, Isolierstoffresten, Baugrubenaushub, Abfallkalk, all-
gemeinem Werksmüll und Betriebsrückständen abgelagert und zu gegebener

MÜLLSAMMELPLATZ WERK LUDWIGSHAFEN
(Zwischendeponie, Umschlag auf Schubschiff)

Abb. 85

Zeit über zwei bewegliche Verladebrücken auf Schubschiffe umgeschlagen[144]. Die zwischen 500 und 2500 t fassenden Einheiten übernehmen den Transport zu der 30 km stromaufwärts gelegenen Deponie Flotzgrün. Insgesamt werden 3 Schiffszüge eingesetzt, von denen jeweils eine Einheit an den Umschlagstellen des Werks bzw. der Deponie zu Be- bzw. Entladearbeiten festliegen, während die dritte Einheit auf Fahrt ist. Für eine Bergfahrt sind rd. 8 Stunden anzusetzen, die Talfahrt reduziert sich auf rd. die Hälfte der Zeit (Abb. 84 u. 85).

Die mit der Sammlung von Abfallstoffen und deren Umschlag auf Schubschiffeinheiten verbundenen technischen Arbeiten werden von der BASF in eigener Regie übernommen. Mit dem Transport und der Ablagerung auf Flotzgrün betraute sie dagegen langfristig ein anderes Unternehmen[145].

4.232 Abfallablagerung und Umweltschutz

Mit der Erfassung chemiebetrieblicher Abfallstoffe, ihrer Verbrennung, Entwässerung und/oder direkten Deponieanlieferung sind im abfallwirtschaftlichen Sinne nur volumenvermindernde bzw. transporttechnische Manipulationen vorgenommen worden. Abgesehen von der partiellen Verwandlungsmöglichkeit fester Abfallstoffe in gasförmige Konfigurationen während des Verbrennungsprozesses, wie z.B. in CO_2, verbleibt als endgültige Abfallbeseitigungsmethode nur die Ablagerung. An dieser Begrenzung des abfalltechnischen Instrumentariums hat die Diskussion um die Entsorgungsproblematik bei zivilisatorischen Abfällen bis heute nichts ändern können[146].

---

144) Kunststoffreste in Form von Schnüren, Bändern und Gespinsten werden zur Vermeidung von Betriebsstörungen bei Transport, Be- und Entladung in Kunststoffsäcke verpackt, stark staubende Materialien, wie Ruß, Farbstoffreste usw. dagegen in Blechfässer abgefüllt.

145) Fa. Grieshaber OHG, Ludwigshafen

146) "Begraben oder verbrennen, sind die Methoden, die schon die Höhlenbewohner angewendet haben. Wir sind eine Nation, die bis zu den Knien im Müll steht und tun heute noch dasselbe." Zitat eines (namentlich nicht genannten) amerikanischen Müll-Sachverständigen nach Adam, Robert: Probleme der Müllbeseitigung in USA. In: Wasser, Luft und Betrieb. 12. Jg., Nr. 3/1968, S. 162

ewandelt hat sich allerdings das Problemverständnis hinsichtlich der
i einer Ablagerung u. U. zu beachtenden Umweltbelastungseffekte.
ektakuläre Schadwirkungen durch unkontrollierte und offene Ablagerung
sten bei den jeweiligen Verursachern nach entsprechender öffentlicher
iskussion und behördlicher Einflußnahme einen Umdenkprozeß aus, der
ch analog zum Problemverständnis industrieller Abwassereinleiter
n Zeitablauf mit den Stichworten

"mehr oder weniger ausgeprägte Vernachlässigung",
"bewußte Relativierung" und
"Hervorhebung als Standortfaktor mit zentraler Bedeutung"

nreißen ließe, der aber hier in retrospektiver Schau nicht weiter ver-
lgt werden soll [147].

n Mittelpunkt der diskutierten Schadwirkungen stehen die mit der unkon-
ollierten Ablagerung von Abfallstoffen zu befürchtenden nachteiligen
eränderungen der Grundwasserqualität. So können im Abfallberg
rhandene spontan lösliche oder erst nach Alterung bzw. Verwitterung
Lösung gehende Stoffe unter der Einwirkung von Niederschlägen ausge-
ugt und unmittelbar dem Untergrund mitgeteilt werden. Der Umweltbe-
stungseffekt besteht hier in einer entsprechenden Aufsalzung bzw. orga-
schen und/oder anorganischen Verschmutzung des Grundwassers[148],
i oberirdisch abfließenden Niederschlägen auch des Oberflächengewäs-
rs (Tab. 86).

e durch Sickerwasserabfluß verursachten Schadwirkungen von Abfall-
ponien relativieren sich allerdings bei großflächiger Betrachtungsweise,
nunmehr auch andere grundwassergefährdende Bodennutzungen mit be-
cksichtigt werden müssen. So geht insbesondere von der Landwirt-
haft mit ihrem hohen Düngemittelverbrauch und der damit zwangsläufig

---

7) Vgl. S. 107 ff.

8) Beispiele für Grundwasserverunreinigungen infolge ungeordneter und offener Ablagerung geben Klotter, Hans-Erich und Langer, Wilhelm: Beispiele von Grundwasserverunreinigungen. In: Kumpf, W., Maas, K. und Straub, H. (Hrsg.): Handbuch der Müll- und Abfallbeseitigung. Band 1, a.a.O., Kennzahl 4515, S. 1 ff.

AUSLAUGUNG UND LÖSUNGSVORGÄNGE IN MÜLLDEPONIEN [149]		
Spontan lösliche Stoffe	Lösliche Zwischenprodukte der Alterung	Lösliche Zwischenprodukte der Verwitterung
Lösung von Feststoffen, z. B. von Salzen aus Abfällen	Org. Säuren, Aldehyde, Alkohole, Metallionen, Bikarbonate, Phosphate, Schwefelwasserstoff	Kohlendioxid, Sulfate, Nitrate, Phosphate, Kieselsäure, Metallionen
Erhöhung der Wasserdurchlässigkeit	Verhinderung der Bildung unlöslicher Endprodukte	Erhöhung der Wasserdurchlässigkeit
Aufsalzung von Grund- und Oberflächenwasser	Organische und anorganische Verschmutzung von Grund- und Oberflächenwasser	Aufnahme von Endprodukten des biologischen Abbaus durch Grund- und Oberflächenwasser
Adsorption ausgelaugter Stoffe in Abhängigkeit von ihrer Art und der Beschaffenheit der Bodenschichten		

Tab. 86

149) Zusammenstellung aus: Bucksteeg, Wilhelm: Abfalldeponien und ihre Auswirkungen auf Grund- und Oberflächenwasser. In: Das Gas- und Wasserfach (gwf). 110. Jg., Nr. 20/1969, S. 529 ff.

verbundenen Ausschwemmung von Stickstoff-, Phosphor- und Kalisalzen sowie der sie begleitenden Sulfate und Chloride eine erhebliche Verunreinigung des Grundwassers mit anorganischen Stoffen aus. Entsprechende Untersuchungen für den Regierungsbezirk Pfalz zeigen deutlich das Mißverhältnis zwischen der zuweilen etwas einseitig gesehenen Grundwassergefährdung durch Abfalldeponien und der um Größenordnungen vermehrten Belastung durch die Landwirtschaft (Tab. 87).

EINFLUSS DER LANDWIRTSCHAFT AUF DIE GRUNDWASSER-QUALITÄT IM REGIERUNGSBEZIRK PFALZ [150]

1. Grundwassergefährdende Flächen im Regierungsbezirk Pfalz[x]

	km^2	%
Müll-, Abfallplätze	2	0,037
Friedhöfe	12,5	0,23
Kanalisationen	20,9	0,38
Landwirtschaftliche Nutzflächen	2 264,2	41,5
Insgesamt	2 299,6	42,147

x) ohne Belegungsflächen für Mineralöltanks und Straßenflächen (Streusalz!)

2. Düngemittelverbrauch im Regierungsbezirk Pfalz 1966/67

Nährstoff im Düngemittel	t	kg/ha
N	16 962,3	65,3
P_2O_5	15 451,1	59,5
K_2O	24 210,4	93,2
CaO	5 738,0	22,1

3. Verlustrate bei Düngemitteln durch Auswaschung

Stickstoffdünger	(N)	≧	50 %
Phosphatdünger	(P_2O_5)		5 - 10 %
Kalisalze	(K_2O)	>	50 %

Tab. 87

Trotzdem kann und darf auch die großräumige Betrachtungsweise die - wenn auch punktuellen - Schadwirkungen einer ungeordneten Abfalldeponie

150) Zusammengestellt aus: Klotter, Hans-Erich und Hantge, Eberhard: Abfallbeseitigung und Grundwasserschutz. In: Müll und Abfall. 1. Jg., Nr. 1/1969, S. 1 ff.

weder außer aucht lassen noch bagatellisieren. Das gilt insbesondere für chemiebetriebliche Abfallstoffe, die bei gegebener Toxizität nicht nur die Bodenfauna und -flora nachhaltig schädigen, sondern darüber hinaus ihre Giftwirkung unmittelbar auf das Grund- bzw. Oberflächenwasser ausdehnen und bereits in relativ geringen Konzentrationen die menschliche Gesundheit beeinträchtigen können (z. B. Schwermetallverbindungen, cancerogene Kohlenwasserstoffe, wie das 3.4 Benzpyren, Nitrate, Phenole).

Hinzu kommen die für ungeordnete Deponien typischen Schwelbrände, Staubverwehungen, Geruchsbelästigungen und/oder allgemein-hygienischen Mißstände, indem die Abfallagerplätze zu Nist- und Brutstätten für krankheitsübertragende Organismen werden können. Schließlich sei auf die für herkömmliche Müllkippen typischen Beeinträchtigungen des Landschaftsbildes hingewiesen.

Aus diesem Katalog potentieller Umweltbelastungseffekte ergeben sich für eine möglichst schadlose Ablagerung fester Abfallstoffe bestimmte bodenphysikalische Erfordernisse, die - zusammengefaßt im Merkblatt G 7 der Arbeitsgemeinschaft für industrielle und gewerbliche Abfallfragen (AfIA) [151] - zugleich als Verfahrensprinzipien des BASF-Deponiebetriebs auf Flotzgrün anzusehen sind [152].

---

151) Vgl. Arbeitsgemeinschaft für industrielle und gewerbliche Abfallfragen (AfIA) (Hrsg.): Merkblatt G 7. Die geordnete und kontrollierte Ablagerung von industriellen und gewerblichen Abfällen. O. O. u. J.

152) Das dem geordneten Deponiebetrieb innewohnende Bestreben nach Verminderung potentieller Umweltbelastungseffekte ist im Falle des Deponiebetriebs Flotzgrün noch um den Hinweis zu ergänzen, daß durch den schiffsmäßigen Abtransport die Straßen spürbar von Lärm, Staub und sonstigen Verkehrsbelästigungen verschont bleiben.

.233 Zur Durchführung der geordneten und kontrollierten Ablagerung chemieindustrieller Abfallstoffe

Die chemiebetriebliche Abfallstoffbeseitigung durch Ablagern hat von grundsätzlich vier Problemstellungen auszugehen:

1. Gesucht werden Ablagerungsflächen, die mit ihrer Ausdehnung den kapazitiven Anforderungen eines Großbetriebes auch auf lange Sicht genügen.
2. Mit dem bisherigen Eigentümer bzw. den zuständigen Ordnungsämtern [153] ist Einigung über die befristete Deklarierung des

DEPONIE FLOTZGRÜN
(Müllumschlag)

Abb. 88

153) Wasserwirtschaftsamt, Landesamt für Gewässerkunde bzw. -schutz, Gesundheitsamt, geologisches Landesamt, Naturschutzbehörde, zuständige Planungsbehörde.

vorgesehenen Geländes zum technischen Ödland zu erzielen.

3. Die Ansiedlung des Chemiebetriebes im Mittelpunkt eines industriellen Ballungsraumes und der prinzipiell nur noch in größeren Entfernungen hiervon zu deckende abfallwirtschaftliche Flächenbedarf erzwingen die Bereitschaft zur Übernahme erheblicher Transportaufwendungen.
4. Die Abfallablagerung hat nach den Grundsätzen der "geordneten und kontrollierten Deponie" zu erfolgen und dabei zugleich die Besonderheiten eines chemiebetrieblichen Müllanfalls zu berücksichtigen.

Die BASF hat hinsichtlich des Flächenbedarfs nach mehrjährigen Bemühungen im Frühjahr 1966 auf der durch die Tulla'sche Rheinregulierung zwischen Rhein und Berghäuser Altrhein entstandenen rd. 320 ha

DEPONIE FLOTZGRÜN
(Bepflanzte Deponiefläche)

Abb. 89

ßen Insel Flotzgrün (Gemarkung Mechtersheim) ein Areal von 80 ha
uflich erworben und hierfür von den zuständigen Behörden auch die
nehmigung zum Betrieb einer geordneten Deponie erhalten. Die seit
vember 1966 vom Werk per Schubschiff angelieferten Abfallstoffe
rden über eine Umschlagsanlage am Berghäuser Altrhein auf Last-
aftwagen verladen und zu den Ablagerungsflächen transportiert.

s der Vielzahl der dabei auftretenden technischen Probleme bzw. der
beachtenden bodenphysikalischen Erfordernisse seien an dieser
elle nur die wichtigsten in stichwortartiger Aufzählung wiedergegeben:

1. Vertiefung der Fahrrinne zur Schiffbarmachung des Berghäuser Altrheinarmes,
2. Abstimmung der Umschlagskapazität auf die Beladeeinrichtungen

DEPONIE FLOTZGRÜN
(Deponiearbeiten)

Abb. 90

im Werk,

3. Vermeidung von Betriebsstörungen bei Niedrigwasser durch weit in die Fahrrinne vorgeschobene Pfahlbaukonstruktion der Entladevorrichtungen (Abb. 88),
4. Sicherung der Umschlagsanlage gegen Hochwasser durch Aufschütten des Umschlagsgeländes um 3 - 4 m,
5. Errichtung von zusätzlichen technischen Anlagen (Werkstatthalle, Stromaggregate) und Personalbauten (Unterkunftsbaracken, sanitäre Anlagen),
6. Erhaltung des Landschaftsbildes und Abschirmung des geräusch-, lärm- und staubintensiven Deponiebetriebes vom nahen Naturschutz- und Erholungsgebiet durch zusätzliche Begrünungsarbeiten und/oder sinnvolle Übernahme bestehender Grüngürtel (Abb.89),
7. Anlage von möglichst staubfreien und befestigten Straßen zum eigentlichen Müllablagerungsgelände,
8. Abdichtung des künftigen Abfallberges gegen den Untergrund durch Verfestigung des vorhandenen Humus (Rüttelwalzen, LKW) bzw. Auffüllen mit bindigem Material oder Bodenvermörtelung,
9. Ablagerung der Abfallstoffe in horizontalen Schichten mit wechselnder Zusammensetzung (Bauschutt/Aushubmaterial und allgemeiner Festmüll, Betriebsrückstände, Schlacken) unter gleichzeitiger Ausnutzung der mechanischen Bodenpressung von drei mit je 20 t Tragfähigkeit bei 20 t Eigengewicht ausgelegten Muldenkippern sowie einer für den Einbau und die Verteilung der Abfälle eingesetzten 60 PS-Planierraupe (Abb. 90),
10. Vermeidung eines oberflächigen Abflusses von Niederschlagswasser durch seitliche Erhöhung der Abfallschichten,
11. Verhinderung von Abschlemmungen bei starken Regenfällen durch Einbau von 3 - 4 m breiten und leicht ausgemuldeten Bermen im Höhenabstand von jeweils 7,5 m sowie durch schrittweise Begrünung der mit einer 30 cm starken kulturfähigen Bodenschicht zu versehenen Außenflächen des Abfallberges bei jeweils rd. 14 m Böschungslänge,
12. Anlage eines Sekundärdammes rings um die Kippstellen gegen

entsprechende Gefahren bei etwaigem Hochwasserdammbruch sowie

13. Ausnutzung des Porenvolumens gegebener Müllzusammensetzung zur kapillaren Bindung des eindringenden Niederschlagswassers (≈15 Vol.%) und entsprechende Dimensionierung der Müllschichten bzw. Auffüllhöhen. Bei einem durchschnittlichen Jahresniederschlag von 800 mm und einer Verdunstungsrate von 50 % ergibt das für den vorerst genutzten und 10 ha großen Teilabschnitt eine jährlich abzulagernde Mindesthöhe von rd. 5,5 m, bestehend aus je 3 Schichten zu 1,35 m Müll und 0,50 m Bauschutt.

Gesamtmenge der inzwischen auf Flotzgrün abgelagerten Abfallffe hat im Frühjahr 1970 die Größenordnung von 1 Mio. m^3 erreicht
o. 91).

ABLAGERUNG VON ABFALLSTOFFEN AUF DER BASF-DEPONIE FLOTZGRÜN	
Nov. 1966 - April 1967	47 000 t
April 1967 - Dez. 1967	160 000 t
1968	353 000 t
1969	358 000 t
Jan. 1970 - März 1970	82 000 t
Insgesamt	1 000 000 t

Tab. 91

Kapazität der 80 ha - Deponie beträgt rd. 20 Mio. m^3, sie wird
n vorsichtigen Schätzungen in etwa 60 Jahren erreicht sein. Es ist
gesehen, den dann auf rd. 40 m Höhe bei 600 x 1600 m Flächenin- angewachsenen Hügelzug vollständig zu begrünen und das Gelände dem
nerigen Eigentümer kostenlos zurückzugeben.

hteilige Veränderungen der Grundwasserqualität konnten bisher aus
ben der zu Kontrollzwecken eingesetzten Brunnen nicht nachgewiesen
den.

4.3 Kosten der chemiebetrieblichen Abfallstoffbeseitigung

Chemiebetriebliche Abfallstoffbeseitigungskosten dienen der Vermeidung bzw. Begrenzung abfallspezifischer Umweltbelastungseffekte. Als ökonomische Kategorie des allgemeinen Umweltschutzes entsprechen sie damit wesensmäßig den Abwasserreinigungskosten. Die Problematisierung hinsichtlich des Auflagencharakters, des Entstehens von "social costs", der zu berücksichtigenden Betriebsindividualität, der nur bedingten Kostenzurechenbarkeit sowie des veränderten Stellenwerts im Gesamtkostengefüge führt zu ähnlichen Ergebnissen, so daß auf eine Wiederholung bzw. analoge Anwendung verzichtet werden kann [154)].

Stattdessen soll hier nach dem sachlichen Inhalt dieser Kostenart gefragt werden, wie er sich im Zusammenhang mit den von der BASF genutzten Beseitigungsmöglichkeiten zwangsläufig ergibt. Das bedeutet

1. für die Abfallstoffbeseitigung durch Verbrennen: Kosten der Müllanlieferung, des Verbrennens in der Rostanlage bzw. den Drehofeneinheiten und des Abtransports der Rückstände sowie
2. für die Abfallstoffbeseitigung durch Ablagern: Kosten der Müllanlieferung zur Zwischendeponie, des Umschlags auf die Schubschiffeinheiten, des Schiffstransports zur Deponie Flotzgrün, des dortigen Umschlags auf LKW und des Deponiebetriebe

Die logischerweise an den funktionsgebundenen Manipulationstechniken orientierte Aufschlüsselung der Kosten ist nicht in jedem Fall empirisch belegbar, so daß auch hier hinsichtlich der zu fordernden Kostendifferenzierung einige Abstriche gemacht werden müssen.

Zu 1: Für den Transport der in Mulden gesammelten brennbaren Abfallstoffe nennt die BASF DM 9,-- bis DM 11,-- je Fahrt. Bei Berücksichtigung des Fassungsvermögens von 3 - 5 m^3 sowie eines mittleren Raumgewichts von γ = 0,33 ergibt sich für den Einsatz der Muldenabsetzkipper ein spezifischer Transportkostensatz von rd. DM 9,--/t, der aber bei geschlossener Ladung größerer Verbrennungspartien in normalen

154) Vgl. S. 158 ff.

LKW entsprechend niedriger ausfällt. Die schrittweise Einstellung der Restmüllverbrennung zugunsten der Ablagerung ändert zwar den innerbetrieblichen Transportweg, nicht aber die Höhe der spezifischen Kostenbelastung. Eine Senkung der Kosten läßt sich hier nur über den rationelleren Einsatz vergrößerter Transportkapazitäten erreichen. Dagegen wird die Anlieferung von flüssigen Rückständen in transportablen Druckbehältern zunehmend an Bedeutung gewinnen. Die spezifischen Transportkosten betragen hier rd. DM 3,--/m^3.

Die spezifischen Müllverbrennungskosten fallen wesentlich höher aus. Ihre Aufschlüsselung nach Kapital-, Personal-, Reparatur-, Energie- und sonstigen Kosten zeigt Tab. 92. Dabei erweist sich die Abhitzeverwertung durch entsprechende Dampfgutschrift als ein bedeutender Faktor der Gesamtkostendeckung.

SPEZIFISCHE KOSTEN UND SPEZIFISCHE DAMPFGUTSCHRIFT DER BASF-MÜLLVERBRENNUNG (1968)

Spezifische Kosten			Spezifische Dampfgutschrift		
Kostenart	DM/t	%		DM/t	%
Kapitalkosten	44,--	35,0	Dampfgutschrift	54,--	42,9
Personalkosten	28,--	22,2	Restkosten	72,--	57,1
Reparaturkosten	26,--	20,6			
Energiekosten	25,--	19,8			
Sonstige Kosten (Labor, Versicherung, Verwaltung usw.)	3,--	2,4			
Gesamtkosten	126,--	100		126,--	100

Tab. 92

Zu 2: Der Transport von ablagerungsfähigen Stoffen beschränkt sich zunächst auf die Anlieferung der Zwischendeponie am Rheinufer. Die hierfür ermittelte spezifische Kostenbelastung von DM 9,50/t liegt in der bereits für brennbaren Werkmüll genannten Größenordnung. Die mit dem Schiffstransport und den Deponiearbeiten betraute Fremdfirma erhält ihre Leistungen mit DM 6,--/t vergütet. Das 80 ha Gelände auf der Insel

Flotzgrün wurde für 5 Mio. DM erworben. Die Abschreibungsdauer des baulichen Teils beträgt 20 Jahre, die des maschinellen Teils 10 Jahre. Nach Einbeziehung des Kapitaldienstes erhöhen sich die spezifischen Kosten auf DM 16,-- bis DM 18,--. Ein Vergleich mit der Müllverbrennung zeigt eindrucksvoll die Vorteilhaftigkeit der Abfallbeseitigung durch Ablagern.

Für die in Tab. 93 angegebenen Gesamtkosten der Abfallstoffbeseitigung gilt die gleiche Einschränkung wie bei der Abwasserreinigung: Sie enthalten nicht die bereits in den Produktionsbetrieben vorgenommenen Manipulationen bzw. die sie verursachenden Kosten und sind deshalb ebenfalls nur als Teilgröße anzusehen.

ABFALLSTOFFBESEITIGUNGSKOSTEN DER BASF
(in Mio. DM/Jahr)

1965	1966	1967	1968
7,41	12,59	12,51	12,71

Tab. 93

5 Die Luftreinhaltung im Chemiebetrieb

5.1 Zusammensetzung und Umwelteinfluß chemiebetrieblicher Abluftkomponenten

5.11 Betriebsabhängige Bestimmungsfaktoren der Luftverunreinigung

5.111 Chemiebetriebliche Emissionsarten

Die mehrfach mit Stoffumwandlung charakterisierte chemisch-technologische Produktionsweise ist mit dem Anfall fester, flüssiger oder gasförmiger Abfallprodukte verbunden. Je nach ihrem biologischen Abbauvermögen, ihrer Ablagerungsfähigkeit bzw. Brennbarkeit bieten sich "biologische Abwasserreinigung", "geordnete Deponie" bzw. "Müllverbrennung" als Abfallbeseitigungsmethoden an. Nicht erfaßt werden dabei jene Substanzen, die während des Produktionsprozesses bzw. der Entsorgungsmanipulationen in die Atmosphäre entweichen (Emission) und durch natürliche Luftströmung, Luftzirkulation oder Diffusion den atmosphärischen Lebensraum des Menschen beeinträchtigen (Immission).

Das Auftreten chemiebetrieblicher Emissionen beruht zunächst auf den vielfältigen Einsatzmöglichkeiten von Luft in der chemischen Verfahrenstechnik: Sei es

1. die Ausnutzung des Luftsauerstoffs für zahlreiche Oxidationsvorgänge, wie z.B. die Schwefelkiesabröstung bzw. die Direktoxidation des Schwefels zum Anhydrit der Schwefelsäure, die Ammoniak-Oxidation zu Salpetersäure, die Cyclohexanoxidation zu Cyclohexanon sowie alle Verbrennungen fossiler Brennstoffe zur Energieerzeugung (Öl und Kohle), sei es
2. die Ausnutzung des Luftstickstoffs für entsprechende Nitrierungsreaktionen, wie z.B. die Umsetzung mit Wasserstoff zu Ammoniak nach Haber-Bosch und sei es schließlich
3. der Einsatz von Luft als Trocknungs-, Belüftungs- bzw. pneumatisches Fördermittel -

stets vollziehen sich diese Vorgänge unter den wechselnd-spezifischen Bedingungen

- eines naturgesetzlich determinierten Prozeßgeschehens (stöchiometrische Gesetze, Gesetz von der Erhaltung der Masse nach Lavoisier),
- eines in der Regel nur unvollständigen Reaktionsablaufs einschließlich auftretender Nebenreaktionen sowie
- einer nicht immer zu verwirklichenden völligen Separierung des Prozeßraumes,

so daß die nunmehr mit Fremdstoffen beladene Luft in die Atmosphäre entweichen kann.

Daneben können auch die unter Luftausschluß durchgeführten Reaktionen, wie z. B. die Chloralkalielektrolyse oder die substituierenden Chlorierungsprozesse mit ihren flüchtigen Folgeprodukten zu entsprechenden gasförmigen Emissionen führen (Cl_2, HCl), während andererseits Füll- und Entleerungsoperationen an Reaktionsgefäßen bzw. Transportbehältern sowie bestimmte physikalische Grundverfahren ("unit operations"), wie z. B. Sieben, Sichten, Granulieren, mechanisches Fördern von trockenen Schüttgütern zusätzliche Staubemissionen verursachen.

Die als Gase, Stäube und/oder Aerosole [155] emittierten Stoffe sind bei der breiten Produktionspalette chemischer Großbetriebe sowohl anorganischer wie organischer Natur. Zu den anorganischen Emissionen zählen insbesondere Schwefeldioxid (SO_2), Schwefeltrioxid (SO_3), Chlor (Cl_2), Chlorwasserstoff (HCl), Stickoxide (NO_x), Schwefelwasserstoff (H_2S), Fluorwasserstoff (HF), Ammoniak (NH_3) sowie diverse Salznebel und -stäube. Organische Emissionen sind wegen der für diesen Chemiezweig geltenden Verbindungsvielfalt meistens nur als Stoffklassen anzugeben: Amine ($R\text{-}NH_2$), Aldehyde (R-CHO), diverse Benzolderivate ($C_6H_5\text{-}R$), Ketone (R-CO-R), Merkaptane (R-SH), chlo-

155) Als Aerosol bezeichnet man das Gemisch eines Gases (z. B. Luft) mit feinstverteilten festen (z. B. Rauch) oder flüssigen (z. B. Nebel) Schwebstoffen.

ierte Kohlenwasserstoffe (R-Cl), Schwefelkohlenstoff (CS_2) und andere Lösungsmitteldämpfe sowie Farb- und sonstige organische Stäube.

5.112 Umwelthygienische Belastungseffekte

Die lufthygienische Bedeutung chemiebetrieblicher Emissionen besteht in der Anreicherung der Atmosphäre mit absolut luftfremden oder nur in ihrer Konzentration atypischen Stoffen bzw. Stoffkombinationen. Der damit verbundene Umwelteinfluß erstreckt sich zwar grundsätzlich auf Mensch, Tier, Pflanze und Sachgut, er wird aber vornehmlich biologisch-medizinisch gesehen, indem fortschreitende Belastungsintensität über die Störung des menschlichen Wohlbefindens zu einer potentiellen Gefährdung, wenn nicht sogar akuten Schädigung der Gesundheit führen kann.

Die von chemiebetrieblichen Emissionen ausgehenden Wirkungen auf die menschliche Gesundheit sind nicht einheitlich interpretierbar. Ihr physiologischer Effekt bestimmt sich vielmehr nach dem Vorhandensein definierbarer Abluftkomponenten bei gegebener Konzentration. Dieser Tatbestand hat zur Ermittlung kritischer Konzentrationswerte geführt, von denen nach dem gegenwärtigen Stand des medizinischen Wissens angenommen wird, daß erst mit ihrem Überschreiten Gesundheitsschädigungen zu erwarten sind. Als "Maximale Arbeitsplatzkonzentrationen" (MAK-Werte) berücksichtigen sie die relativ kurzfristige Einwirkdauer des 8-stündigen Arbeitstages im Betrieb, während die "Maximalen Immissionskonzentrationen" entweder auf die Dauereinwirkung unseres allgemeinen atmosphärischen Lebensraumes abgestellt sind (MIK_D-Werte) oder als Kurzzeitwerte gewisse Belastungsspitzen innerhalb definierter Zeitintervalle tolerieren (MIK_K-Werte). Tab. 94 enthält die entsprechenden Werte der bedeutendsten - auch für die BASF mehr oder weniger relevanten - Abluftkomponenten.

Das nach Mengenanfall und interregionaler Verbreitung wichtigste Abgas ist das Schwefeldioxid (SO_2). Es entsteht nicht nur bei der Verbrennung schwefelhaltiger Brennstoffe in den Kraftwerken (Öl, Kohle), sondern

KRITISCHE KONZENTRATIONSWERTE LUFTVERUNREINIGENDER IMMISSIONSARTEN

Spurenstoff	Normale Atmosphäre[156]	Verunreinigte Atmosphäre[156]	MAK - Werte[157]		MIK_D - Werte[158]		MIK_K - Werte[158]	
	mg/m^3	mg/m^3	mg/m^3	cm^3/m^3 (ppm)	mg/m^3	cm^3/m^3 (ppm)	mg/m^3	cm^3/m^3 (ppm)
SO_2	0,05 - 0,02	> 0,1	13	5	0,5	0,2	0,75	0,3
H_2S	-		15	10	0,15	0,1	0,3	0,2
CS_2	-		60	20	-[159]	-[159]	-[159]	-[159]
NO_2	< 0,005	> 0,1	9	5	1	0,5	2	1
Cl_2	-		2	0,5	0,3	0,1	0,6	0,2
Staub	0,02	> 0,07			a) allgemein[160]: Jahresmittelwert 0,42 g/m^2Tag; Monatsmittelwert 0,65 g/m^2Tag b) Ind. Ballungsgebiete[160]: Jahresmittelwert 0,85 g/m^2Tag; Monatsmittelwert 1,3 g/m^2Tag			

Tab. 94

rd insbesondere auch beim Abrösten sulfidischer Erze, bei der Schwelsäurefabrikation und noch anderen chemischen Prozessen freigesetzt. egen seines ubiquitären Charakters dient es als Leitgas zur Beurteing der Immissionsverhältnisse vorgegebener Regionen. Traditionell ird SO_2 den starken Pflanzengiften zugerechnet. Tatsächlich sind Vetationsschäden bereits bei Konzentrationen zu beobachten, die vom enschen geruchlich noch nicht wahrgenommen werden können. Anderseits haben jedoch biostatistische Erhebungen den Beweis erbracht, aß bei längerer Einwirkdauer auch hinsichtlich der Schädigungen des enschlichen Organismus von äußerst restriktiven Annahmen auszuehen ist (Abb. 95 u. 96).

---

56) Zusammenstellung aus: Robel, Franz: Die Reinhaltung der Luft - eine lebenswichtige Aufgabe. In: Wasser und Abwasser. O. Jg., Nr. 7/1969, S. 202

57) Der Bundesminister für Arbeit und Sozialordnung (Hrsg.): MAK-Werte 1966. In: Arbeitsschutz. O. Jg., Nr. 9/1966, S. 229 ff.

58) MIK_D: als Halbstundenmittelwert; MIK_K: zulässige Überschreitung des Dauerwertes für SO_2 innerhalb von 2 Stunden jeweils ein Halbstundenmittelwert und für H_2S, NO_2 und Cl_2 dreimal täglich als Halbstundenmittelwert. Vgl. VDI-Kommission Reinhaltung der Luft (Hrsg): VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft. Stand 1.10.1969. Band 1, Register Nr. 2. Für SO_2: VDI 2108, S. 6; für H_2S: VDI 2107, S. 6; für NO_2: VDI 2105, S. 6; für Cl_2: VDI 2106, S. 6. Die MIK_D- und MIK_K-Werte stimmen mit Ausnahme des MIK_D-Wertes für SO_2 mit den entsprechenden Immissionskenngrößen I_1 und I_2 nach TA-Luft überein. Vgl. Der Bundesminister für Gesundheitswesen: Allgemeine Verwaltungsvorschriften über genehmigungsbedürftige Anlagen nach § 16 der Gewerbeordnung (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft) v. 8.9.1964. In: Bundesministerium des Innern (Hrsg.): Gemeinsames Ministerialblatt. 15. Jg., Nr. 26 v. 14.9.1964, S. 433 ff.

59) Bei Substanzen (bes. organischen Lösemitteln und Zwischenprodukten), für die noch kein MIK-Wert festgelegt wurde, kann zunächst ein Wert von der Größe 1/20 MAK-Wert angenommen werden, sofern keine besonderen Gründe dagegen sprechen". In: Auergesellschaft GmbH (Hrsg.): AUER-Technikum, 5. Aufl. Berlin 1967, S. 66

60) Vgl. Der Bundesminister für Gesundheitswesen: Allgemeine Verwaltungsvorschriften über genehmigungsbedürftige Anlagen nach § 16 der Gewerbeordnung (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft) v. 8.9.1964, a.a.O., S. 437

Einfluß von Schwefeldioxid auf die menschliche Gesundheit [161)]

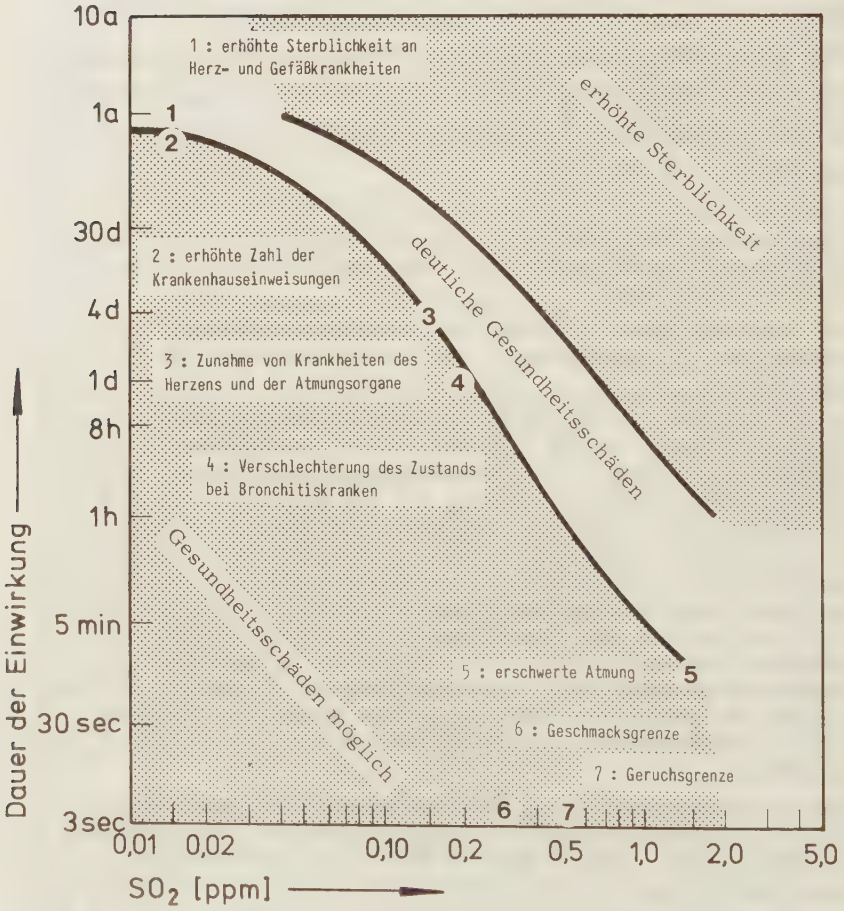


Abb. 95

Schädigung von Pflanzen durch Schwefeldioxid [162]

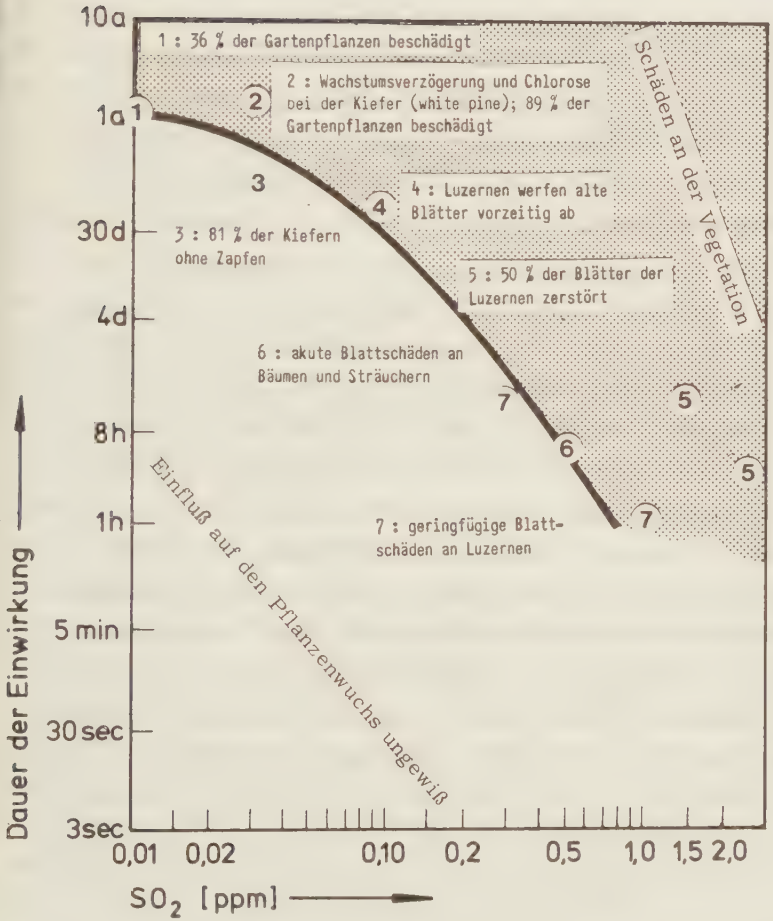


Abb. 96

Von den über das SO_2 hinaus emittierten Schwefelverbindungen müssen wegen ihrer Toxizität insbesondere noch der Schwefelwasserstoff (H_2S) und der Schwefelkohlenstoff (CS_2) genannt werden. Während H_2S nach anfänglichen Reizerscheinungen an den Schleimhäuten mit fortschreitender Einwirkdauer und -konzentration die Zellatmung unmittelbar lähmt und damit unter Extremalbedingungen den "Sekundentod" auslösen kann, beruht der gesundheitsschädliche Einfluß des CS_2 auf seiner Lipoidlöslichkeit und der hieraus folgenden Beeinträchtigung des Nervensystems und der hormonalen Drüsen. Beide Emissionsarten sind indes für die BASF weniger charakteristisch, da vornehmlich Viskosebetrieben vorbehalten. Als potentielle H_2S-Emittenten kommen Fabrikationsbetriebe für Farbstoffe sowie petrochemische Anlagen in Betracht.

Zu den typischen Abluftkomponenten eines Chemiegroßbetriebes, wie der BASF, zählen wiederum die nitrosen Gase, für deren Emission vornehmlich die Salpetersäure- und Nitratherstellung sowie die vielfältigen Nitrierungsprozesse verantwortlich zu machen sind. Der Nitrosegasauswurf besteht in der Regel aus einem Gemisch von Stickstoffoxiden, wie NO, NO_2; letzteres bildet sich aus dem primär entweichenden Stickstoffmonoxid unter der Einwirkung des Luftsauerstoffs und ist rein optisch bereits in relativ niedriger Konzentration (< 200 ppm $= 0,4$ g/Nm^3) an seiner charakteristischen Braunfärbung zu erkennen. Die Stickoxide haben einen stechenden Geruch und gelten als Blut- und Lungengifte.

Die schädlichen Wirkungen der Stickoxide werden noch von den chlorhaltigen Emissionen übertroffen. Als stechend riechendes und stark ätzendes Giftgas, das sich mit dem Wasser der Luft zu Chlorwasserstoff bzw. Salzsäurenebel verbinden kann, verursacht das Chlor beim Menschen hochgradige Reizerscheinungen an den Schleimhäuten der Augen sowie der Atemwege und Atmungsorgane. Potentielle Emissionsquellen

---

161) Zusammenstellung aus: U.S. Department of Health, Education, and Welfare. Public Health Service: Air quality criteria for sulfur oxides. Washington, D.C., March 1967, S. xxx ff.

162) Zusammenstellung aus: U.S. Department of Health, Education, and Welfare, a.a.O., S. xliii ff.

sind z. B. Kunststoffabrikationsbetriebe (PVC!), Anlagen der Chloralkalielektrolyse bzw. technischen Chlorierung sowie Rückstandverbrennungsanlagen.

Einen besonderen Platz unter den Abluftkomponenten nehmen die geruchsintensiven Stoffe ein. Als mögliche Emissionen bei der Herstellung spezieller organischer Zwischenprodukte machen sie sich in der Umgebung von Chemiewerken noch in extrem hoher Verdünnung unangenehm bemerkbar. So liegt der Geruchsschwellenwert des Trimethylamin ($(CH_3)_3N$) bei 0,02 mg/m^3, der des Äthylmercaptan (C_2H_5SH) sogar bei 0,000 000 05 mg/m^3 163).

Schließlich sei noch auf die mit der Emission technischer Stäube verbundenen Belästigungen hingewiesen, die sich z. B. in Augenentzündungen und - bei lungengängigen Feinststäuben - auch in entsprechenden Schädigungen des Atemtrakts äußern können. Zu den flugstaubemittierenden Betriebsteilen eines Chemiewerks gehören insbesondere die noch mit Kohle betriebenen Kraftwerke sowie Anlagen zur Herstellung von Farbstoffen, Düngemitteln und anderen anorganischen Produkten.

Für die umwelthygienische Beurteilung staubförmiger Emissionen ist jedoch vor allem das Adsorptionsvermögen der Staubpartikel gegenüber den bereits in der Luft vorhandenen Flüssigkeiten, Gasen und Gerüchen maßgebend, da die oberflächige Anreicherung mit bestimmten Abluftbestandteilen die Toxizität in entsprechender Weise erhöht. Andererseits verursachen sie im Verein mit Aerosolen die bekannten "Dunstglocken", die nicht allein das psychische Wohlbefinden stören, sondern durch Absorption des kurzwelligen Lichts auch den (z. B. für die Synthese des antirachitischen Vitamin D im menschlichen Organismus wichtigen) UV-Strahlungsanteil vermindern. Darüber hinaus erfüllen Staub und Ruß z. B. katalytische Funktionen bei der Oxidierung des SO_2 zum (umwelthygienisch noch bedenklicheren) SO_3, das bei hoher Luftfeuchtigkeit reizstarke Schwefelsäure-Aerosole bilden kann.

---

163) Vgl. Auergesellschaft GmbH (Hrsg.): Auer-Technikum, a. a. O., S. 104 bzw. 106

Zugleich wird damit deutlich, daß chemiebetriebliche Luftverunreinigung nicht allein an der Schadwirkung einzelner Abluftkomponenten gemessen werden darf, da unter bestimmten Voraussetzungen wechselbezügliche Reaktionsmechanismen den Umweltbelastungseffekt noch erhöhen.

5.12 Standortabhängige Bestimmungsfaktoren der Luftverunreinigung

5.121 Immissionsbelastung industrieller Ballungsräume

Die Verschmutzung der Luft mit chemiebetrieblichen Abgasen ist ein prinzipiell regional und nicht punktuell zu sehendes Phänomen. Anders als beim Abwasser und den Abfallstoffen, bei denen die zentrale Erfassung eine erste Separierung potentieller Schadstoffe ermöglicht, bedingt der flüchtige Charakter von staub- und gasförmigen Emissionen, daß sie ggf. ungehindert in die Atmosphäre entweichen und damit in den lebensnotwendigen Inhalationsbereich der Einwohner einer ganzen Region gelangen.

Diese Voraussetzungen gelten nicht allein für chemieindustrielle Verhältnisse. Vielmehr beteiligen sich an diesem Umweltbelastungseffekt sowohl die am jeweiligen Standort noch angesiedelten übrigen Industrie- und Gewerbebetriebe als auch der Kraftverkehr und die häuslichen Feuerstellen, so daß sich der betriebsindividuelle Beitrag zur Immissionsbelastung entsprechend relativiert.

Der Anteil von Industrie, Kraftverkehr und Hausbrand an der Luftverschmutzung wird global mit 35, 40 und 25 Prozent angegeben[164]. Örtlich spezifische Gewerbestrukturen, wie z.B. die für den Raum Mannheim/Ludwigshafen typische Ballung von Chemiebetrieben, lassen demgegenüber etwas modifiziertere Verhältnisse vermuten, exakt-quantita-

164) Vgl. Robel, Franz: Die Reinhaltung der Luft - eine lebenswichtige Aufgabe, a.a.O., S. 202; vgl. hierzu auch die Feststellungen der staatlichen Gewerbeaufsicht in Nordrhein-Westfalen, wonach die anteilige Luftverschmutzung wie folgt beziffert wird: Kraftfahrzeugverkehr: 42 %, Industrie: 35 % und Hausbrand: 23 %. In: o.V. (hd.):

tive Ergebnisse liegen nicht vor. Immerhin konnte mit einem vom "Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene" in Berlin auf Antrag der "Kommunalen Arbeitsgemeinschaft Rhein-Neckar" in Mannheim erstatteten Gutachten nachgewiesen werden, daß auch hier der Hausbrand und der Kraftfahrzeugverkehr wesentlich zur Luftverunreinigung (mit zudem noch steigendem Belastungseffekt) beitragen, während andererseits der Anteil der Großindustrie entsprechend rückläufig ist. Auszunehmen sind hiervon die industriellen Großfeuerungen, wie Dampfkraftwerke, Fernheizwerke, petrochemische Anlagen und Erdölraffinerien: Sie erhöhten ihre SO_2-Emissionen von 1956 - 1966 um fast 100 %. Technische Verbesserungen der Ableitungsbedingungen, wie teilweise Erhöhung der Kamine, ließen jedoch die Immissionsbelastung nicht ansteigen [165].

Als großflächige Emissionsquelle ist der Hausbrand insbesondere für die Anreicherung der unteren Schichten der Atmosphäre mit SO_2 und Staub verantwortlich. Aus der Entwicklung der Jahresverbräuche an fossilen Brennstoffen ermittelte das genannte Forschungsinstitut für den gleichen Zeitraum eine Emissionssteigerungsrate von etwa 40 % für beide Abluftkomponenten. Weitere hausbrandbedingte Emissionsarten sind die Stickoxide (NO_x) sowie - insbesondere bei feststoffbeheizten Einzelöfen - auch Teer- und Rußbestandteile.

Der lufthygienische Belastungseffekt des Kraftfahrzeugverkehrs beruht vor allem auf der toxikologischen Wirkung des in den Auspuffgasen angereicherten Kohlenmonoxids (CO). Mit seiner im Verhältnis zum Luftsauerstoff 300 mal größeren Affinität zum Hämoglobin des Blutes kann

---

Luftreinhaltung - Neuer Hauptsünder. In: Der Volkswirt. 18. Jg., Nr. 19/1964, S. 833

165) Vgl. Bundesgesundheitsamt, Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene. Gutachten über Luftverunreinigungen im Raum Mannheim/Ludwigshafen. Teil 1 v. 28.9.1966, Gesch.-Z.: B-B 280; Teil 2 v. 12.3.1968, Gesch.-Z.: B IV - B 60 sowie Lahmann, Erdwin, Morgenstern, Wolfram und Grupinski, Leonhard: Schwefeldioxid-Immissionen im Raum Mannheim/Ludwigshafen. Stuttgart 1967 (Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene Berlin-Dahlem, Nr. 25)

CO den lebensnotwendigen Sauerstofftransport der Erythrozyten blockieren; es ist daher als schweres Blutgift zu bezeichnen. Seine besondere Gefährlichkeit besteht vor allem darin, daß es weder optisch, noch geruchlich oder geschmacklich wahrgenommen werden kann. Weitere Abgasbestandteile mit eindeutig toxikologischer Wirkung sind die Stickoxide, Bleiverbindungen, unverbrannte oder nur unvollständig verbrannte Kohlenwasserstoffe sowie - an Rußpartikel gebunden - auch cancerogene Poly- und Heterocyclen, wie z. B. das 3.4-Benzpyren. Aus der Statistik der für die Städte Mannheim und Ludwigshafen (ohne Landkreise) zugelassenen Kraftfahrzeuge läßt sich unschwer die zunehmende Bedeutung der kraftverkehrsbedingten Luftverschmutzung ableiten:

ZUGELASSENE KRAFTFAHRZEUGE IN LUDWIGSHAFEN A. RH. UND MANNHEIM [166]
(Stadtgebiet)

	1956	1961	1967
Ludwigshafen	16 639	26 626	40 421
Mannheim	37 960	53 067	79 564
Insgesamt	54 599	79 693	119 985

Tab. 97

Zwar sieht die geänderte Straßenverkehrs-Zulassungsordnung ab 1.10.1970 für neue Kraftfahrzeuge eine Begrenzung des CO- und Kohlenwasserstoff-Ausstoßes vor, trotzdem dürften damit den Bemühungen um örtliche Immissionsverminderung selbst für diese Komponenten nur ein langfristiger Erfolg beschieden sein.

166) Amt für Stadtforschung, Statistik und Wahlen der Stadt Ludwigshafen am Rhein (Hrsg.): Statistisches Jahrbuch der Stadt Ludwigshafen am Rhein 1967. Ludwigshafen a. Rh. 1968, S. 188

5.122 Meteorologische Parameter

Der bei gegebener Immissionsbelastung zu befürchtende Umwelteinfluß ist nicht allein auf die Schadwirkungen einzelner Emissionsarten und deren wechselbezüglich-physikalisch-chemischen Reaktionsmöglichkeit zurückzuführen: Auch die standortspezifischen Witterungsverhältnisse greifen regulierend in den Immissionsanreicherungs- bzw. -verdünnungsprozeß ein, so daß der potentielle Beitrag des Chemiebetriebes zur Luftverschmutzung um eine weitere Dimension zu ergänzen ist.

Von den insgesamt zu beachtenden meteorologischen Parametern sollen hier vor allem

a) die Windverhältnisse sowie

b) die Häufigkeit von Inversionswetterlagen

hervorgehoben werden; sie sind es auch, die den Oberrheingraben und damit den Standort der BASF in lufthygienischer Hinsicht außerordentlich benachteiligen. Während z. B. hohe Windgeschwindigkeiten und die damit verbundene turbulente Luftströmung chemiebetriebliche und andere Emissionen verhältnismäßig rasch verdünnen, ihren Abtransport beschleunigen und damit Immissionskonzentrationsspitzen - wenn überhaupt - nur punktuell und kurzzeitig aufkommen lassen, ist dieser natürliche Selbstreinigungseffekt der Luft bei den im Raum Mannheim/Ludwigshafen gemessenen niedrigen Windgeschwindigkeiten von rd. 2 m/s entsprechend verzögert (Tab. 98):

WINDGESCHWINDIGKEITEN IN DEUTSCHEN GROSSTÄDTEN[167] (Jahresmittelwerte in m/s)	
Hamburg	5,6
Berlin	4,6
Dresden	3,7
Mannheim/Ludwigshafen	≈ 2,0
München	1,9

Tab. 98

167) Bis auf Mannheim/Ludwigshafen entnommen einer bildlichen Darstellung aus: Sprenger, Eberhard (Hrsg.): Recknagel - Sprenger,

Auch die für jene Region häufigen Inversionswetterlagen begünstigen die Anreicherung der Atmosphäre mit emissionsbedingten Fremdstoffen. Diese Erscheinung beruht im wesentlichen auf dem - im Gegensatz zu normalen Wetterverhältnissen - positiven Temperaturgradienten. Temperaturinverse Luftschichten unterbinden aber den vertikalen Luftaustausch, so daß bei der für Inversionswetterlagen ebenfalls typischen Windstille bzw. nur unbedeutenden Windbewegung die Immissionen hohe Konzentrationswerte annehmen können.

5.2 Möglichkeiten und Grenzen der chemiebetrieblichen Luftreinhaltung

5.21 Überblick

Mit der getrennten Darstellung betriebsindividueller und standortabhängiger Bestimmungsfaktoren der Luftverunreinigung konnte deutlich gemacht werden, daß zur umwelthygienischen Beurteilung chemiebetrieblicher Emissionen nicht allein die potentiellen Schadwirkungen definierbarer Abluftkomponenten bekannt sein müssen, sondern ebenso die Verteilungs-, Verdünnungs- und Umsetzungsvorgänge in der ggf. bereits vorbelasteten Atmosphäre. Erst unter ihrem Einfluß können die Schadstoffe in bodennahe Luftschichten und damit in den Gefährdungsbereich für Mensch, Tier, Pflanze und Sachgut gelangen. Der chemiebetriebliche Immissionsschutz muß sich daher sowohl die

(1) Begrenzung der schadstoffspezifischen Emissionen

als auch die

(2) Verbesserung der Ableitungsbedingungen

zum Ziel setzen.

Wie bei der abwassertechnischen Sanierung ist auch hier das naturgesetzlich determinierte Prozeßgeschehen mit seinem weitgehend vorge-

---

Taschenbuch für Heizung, Lüftung und Klimatechnik. 54. Ausgabe. München - Wien 1966, S. 25

gebenen Stoffumsatz ein Branchenspezifikum, das die lufthygienische Dispositionsfähigkeit erheblich einengt. Sie ist daher grundsätzlich nur in zweifacher Weise denkbar:

1. durch Änderung der verfahrenstechnischen Grundlage, indem vornehmlich betriebswirtschaftliche Überlegungen einen effizienteren Stoffumsatz mit verbesserter Emissionssituation zu verbinden verstehen sowie
2. durch Anwendung spezieller Abgasreinigungsverfahren, indem das betriebswirtschaftliche Kalkül die Beibehaltung des jeweiligen Produktionsverfahrens nahelegt, so daß die prozeßbedingte Abluft einer emissionsvermindernden bzw. die Verteilung und Verdünnung in der Atmosphäre begünstigenden Behandlung unterworfen werden muß.

Wie die folgenden Beispiele zeigen, hat die BASF von beiden Möglichkeiten umfangreichen Gebrauch gemacht.

5.22 Luftreinhaltung durch Verfahrensumstellung

Der Begriff Verfahrensumstellung soll in diesem Zusammenhang sehr weit, d.h. nicht ausschließlich auf die Erstellung spezifischer Produkte bezogen verstanden werden. Er umfaßt mithin

1. die grundsätzlich veränderte Reaktionsführung,
2. die Variation bestimmter Reaktionskonstanten,
3. den Wechsel im Rohstoffeinsatz sowie
4. die Umstellung der Primärenergieerzeugung auf neue Brennstoffe.

Zu 1: Das bedeutendste Beispiel aus dem BASF-Bereich für eine Emissionsverminderung durch veränderte Reaktionsführung ist zweifellos der Wechsel vom herkömmlichen Kontaktverfahren zur Doppelkatalyse bei der Schwefelsäurefabrikation[168]. Ausgangsprodukt für beide Verfahren ist das durch Abrösten sulfidischer Erze und/oder Schwefelverbrennung

168) Vgl. Werth, H.: Das Bayer-Doppelkontaktverfahren. In: Wasser, Luft, Betrieb. 9. Jg., Nr. 3/1965, S. 161 f.

erzeugte Schwefeldioxid (SO_2), aus dem über die katalytische Luftoxidation zu Schwefeltrioxid (SO_3) und Absorption in Wasser bzw. Pyroschwefelsäure das Endprodukt Schwefelsäure (H_2SO_4) gewonnen wird:

$$S + O_2 - 70{,}9 \text{ kcal} \longrightarrow SO_2 \qquad \text{(a)}$$

$$2\,SO_2 + O_2 - 45{,}9 \text{ kcal} \longrightarrow 2\,SO_3 \qquad \text{(b)}$$

$$SO_2 + 1/2\,O_2 + H_2O - 54{,}5 \text{ kcal} \longrightarrow H_2SO_4 \qquad \text{(c)}$$

Reaktion (b) verläuft nicht vollständig, praktisch werden nur 95 % erreicht. Der nicht umgesetzte SO_2-Rest entweicht als gasförmige Emission in die Atmosphäre. Die Doppelkatalyse arbeitet demgegenüber mit einer Zwischenabsorption, indem durch Herausnahme des SO_3 aus den Endgasen im Absorptionsturm und erneute katalytische Oxidation des Rest-SO_2 mit Luftsauerstoff zu SO_3 der Gesamtumsatz auf letztlich 99,5 - 99,7 % gesteigert werden kann. Gleichzeitig vermindert sich damit die SO_2-Emission auf rd. 1/6 des bisherigen Wertes (Tab. 99):

VERMINDERUNG DER SO_2-EMISSION DURCH VERFAHRENSÄNDERUNG BEI DER SCHWEFELSÄUREHERSTELLUNG [169]

	SO_2 - Gehalt des Endgases ($g\ SO_2/Nm^3$)	SO_2 - Emission ($kg\ SO_2/t\ H_2SO_4$)
Konventionelle Katalyse	≈ 5	17
Doppelkatalyse	0,5 - 0,7	3

Gesamtemission von SO_2 in der Bundesrepublik 1967: 4 Mio. t [170]
1975: 5 Mio. t

Produktionskapazitäten für H_2SO_4 Anfang 1969 [171]:

a) Bundesrepublik 4 000 000 jato SO_3 (= 5 Mio. t H_2SO_4)

b) BASF 465 000 jato SO_3

(geplanter Ausbau: 800 000 jato SO_3)

Tab. 99

169) Zusammengestellt aus Teske, Wolfgang: Luftreinhaltung in der Chemischen Industrie. In: Zentralblatt für Arbeitsmedizin und Arbeitsschutz. Band 19. Nr. 10/1969, S. 290

170) Vgl. Arbeits- und Sozialminister des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.): Reinhaltung der Luft in Nordrhein-Westfalen. Bericht zum

Betrachtet man das Verhältnis zwischen der Gesamtemission an SO_2 in der Bundesrepublik und Schwefelsäureproduktion, so wird deutlich, daß selbst bei verfahrenstechnisch ungünstigsten Bedingungen der Anteil zu gering ist, als daß durch vollständige Umstellung auf das Doppelkontaktverfahren eine tiefgreifende Verminderung der SO_2-Emission zu erreichen wäre[172) 173)]. Wohl aber können derartige Emissionsverminderungen die örtlichen Immissionsverhältnisse spürbar verbessern helfen, worauf noch im Zusammenhang mit der chemiebetrieblichen Überwachung der Abluftsituation einzugehen sein wird.

Zu 2: Auch bei der Herstellung von Salpetersäure (HNO_3), einem ebenso bedeutenden Schlüsselprodukt der Chemischen Industrie, konnte durch Verfahrensänderung die Emissionsverhältnisse verbessert werden. Die traditionelle Stufenfolge des Herstellungsprozesses blieb unverändert, mithin die Ammoniak-Verbrennung, die Weiteroxidation des sich bildenden Stickstoffmonoxids (NO) zu Stickstoffdioxid (NO_2) und dessen Absorp-

---

Kongreß Reinhaltung der Luft in Düsseldorf vom 13. bis 17. Oktober 1969. Essen 1969, S. 76; Dratwa, Heinrich: Verminderung und Beseitigung staub- und gasförmiger Emissionen. In: Wasser, Luft und Betrieb. 13. Jg., Nr. 5/1969, S. 172 sowie Pieper, B.: Emissionen und Verbrennungsrückstände aus Dampfkraftwerken im Jahre 1965. In: Mitteilungen der Vereinigung der Großkesselbesitzer. Heft 108/1967, S. 173

171) Vgl. o.V.: Es tut sich viel bei Schwefelsäure. In: Chemische Industrie. 21. Jg., Nr. 10/1969, S. 691

172) Von den 1967 in der BRD insgesamt emittierten 4 Mio. t SO_2 stammen rd. 80 % aus der Verbrennung von Kohle und Öl. Vgl. Arbeits- und Sozialminister des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.): Reinhaltung der Luft in Nordrhein-Westfalen. Bericht zum Kongreß Reinhaltung der Luft in Düsseldorf vom 13. bis 17. Oktober 1969. Essen 1969, S. 76

173) 1968 waren in der Bundesrepublik bereits 18 Doppelkatalyse-Anlagen in Betrieb, 2 weitere im Bau. Vgl. o.V.: Chemische Industrie und Kohlenwertstoffgewinnung. In: Wirtschaftliche Mitteilungen der Niederrheinischen Industrie- und Handelskammer Duisburg-Wesel zu Duisburg. Sonderdruck Oktober 1969, S. 421. Von den 3 Schwefelsäuregroßanlagen der BASF wird eine bereits in Doppelkatalyse betrieben, eine weitere Umstellung ist geplant.

tion zu Salpetersäure:

$$2\,NH_3 + 5/2\,O_2 - 107\ kcal \longrightarrow 2\,NO + 3\,H_2O$$
$$2\,NO + O_2 - 33{,}4\ kcal \longrightarrow 2\,NO_2\ .$$
$$2\,NO_2 + H_2O \longrightarrow HNO_3 + HNO_2$$
$$HNO_2 + NO_2 \longrightarrow HNO_3 + NO$$

Das NO läßt sich dabei nicht vollständig zur Säurebildung heranziehen, so daß ein Teil im Abgas erscheint. Erst die Anwendung der Druckabsorption (BASF: 7 - 9 atü = Hochdruck; 3 - 4 atü = Mitteldruck), zu der insbesondere die Entwicklung säurefester Legierungen für die Druckgebläse verholfen hat, konnte die Restemissionen an Stickoxiden erheblich senken. So gibt die BASF den für 1969 ermittelten Nitrosegasauswurf mit 50 % des entsprechenden Wertes für 1961 an, obwohl sich im gleichen Zeitraum die Salpetersäureproduktion um mehr als das 1,5-fache erhöht hat. Der Gesamtnitrosegehalt im unverdünnten Endgas beträgt für die 1. Ausbaustufe der Druckabsorption 1,1 g/Nm^3, für die 2. Ausbaustufe sogar nur noch 0,5 g/Nm^3.

Zu 3: Die durch Wechsel im Rohstoffeinsatz ggf. zu erzielende Emissionsverminderung soll aus dem BASF-Bereich am Beispiel der Acetylenherstellung erläutert werden. Traditioneller Rohstoff war hier bis 1965 das Calcium-Karbid (CaC_2), gemäß

$$CaC_2 + 2\,H_2O - 25\ kcal \longrightarrow C_2H_2 + Ca(OH)_2\ ,$$

das seinerseits in Lichtbogenöfen unter erheblicher Staubemission (Abb. 121), bestehend aus Calciumoxid, Magnesiumoxid, Alkalioxide u.a., erzeugt wurde:

$$CaO + 3\,C + 112\ kcal \longrightarrow CaC_2 + CO$$

Das Ausweichen auf Erdgas, Rohbenzin bzw. andere Erdölderivate, d.h. die Spaltung von Kohlenwasserstoffen im elektrischen Lichtbogen, z.B. gemäß

$$2\,CH_4 + 93{,}8\ kcal \longrightarrow C_2H_2 + 3\,H_2\ ,$$

ließ in der Folgezeit das Staubproblem gegenstandslos werden.

Zu 4: Schließlich sei noch auf den emissionsvermindernden Effekt bei verändertem Brennstoffeinsatz zur Primärenergieerzeugung hingewiesen. Wie bereits mehrfach betont, sind fossile Brennstoffe wegen ihres Schwefelgehalts vornehmlich für die Anreicherung der Luft mit Schwefeldioxid (SO_2) verantwortlich zu machen. Die 1960 begonnene schrittweise Umstellung der BASF-Kraftwerke von Kohle- auf aschefreien Heizölbetrieb (KW Süd und Nord = Öl, KW Mitte = Kohle), reduzierte zwangsläufig den Staubauswurf; die SO_2-Emission hingegen nur bei Verwendung leichten Heizöls. Der von der BASF ab 1970 geplante Einsatz von Erdgas wird auch hier eine grundsätzliche Verringerung der betriebsabhängigen Immissionsbelastung ermöglichen (Tab. 100)

SCHWEFEL-IMMISSIONEN BEI FESTEN, FLÜSSIGEN UND GASFÖRMIGEN BRENNSTOFFEN [174]

	Steinkohle	Heizöl El	Heizöl S	Erdgas
Heizwert kcal/kg bzw. bei Erdgas kcal/m^3_n	7 500	10 200	9 900	8 400
Schwefelgehalt Gew.-%, bei Erdgas g/m^3_n	1,2	0,5	2,2	Spuren
Brennstoffmenge kg/10 000 kcal, bei Erdgas m^3_n/10 000 kcal	1,34	0,98	1,01	1,19
Immitierte Schwefelmenge g/10 000 kcal	161	49	222	---

Tab. 100

174) Zusammengestellt aus: o. V. (Z. G.): Erdgas ist schwefelfrei. In: Die technische Linie. 22. Jg., Nr. 43 v. 15.10.1969, S. 155 (Beilage zu Handelsblatt. 24. Jg., Nr. 198 v. 15.10.1969).

5.23 Luftreinhaltung durch Abgasreinigung

Die emissionsvermindernden Verfahrensumstellungen beschränken sich in der Regel auf einige wenige Fabrikationsbetriebe für anorganisch-chemische Schlüsselprodukte. Sie sind zu ergänzen um jene Maßnahmen, welche die Abscheidung und Vernichtung schädlicher Emissionsbestandteile, deren Überführung in luftverwandte Zusammensetzung und/oder verbesserte Ableitungsbedingungen in die Atmosphäre anstreben. Bei der bereits mehrfach betonten Heterogenität des chemiebetrieblichen Produktionsgeschehens fallen sie entsprechend zahlreich aus. Allein der Hinweis, daß die BASF mehr als 700 Einzelmaßnahmen zur Abgas- bzw. Abluftreinigung einsetzt, macht deutlich, vor welchem a p p a r a -

ELEKTROFILTER

Abb. 101

tiven Hintergrund das Lufthygieneproblem eines Chemiebetriebes zu sehen ist. Auf konstruktive Details kann daher im Rahmen dieser Untersuchung nicht eingegangen werden [175]; es mag genügen, die charakteristischen Emissionsgruppen den ihnen gemäßen - und von der BASF auch genutzten - Abgasreinigungsverfahren gegenüberzustellen (Tab. 104).

Zu den am leichtesten abscheidbaren Emissionsarten zählen die Stäube. Die mit Kornverteilung, Konzentration, spezifischem Gewicht und erwünschtem Abscheidegrad jeweilig zu charakterisierenden Staubverhältnisse lassen vornehmlich mechanisch wirkende Verfahren zum Ein-

INTENSIVNASSWÄSCHER

Abb. 102

175) Vgl. Knop, W. und Teske, W.: Technik der Luftreinhaltung. Mainz 1965, S. 21 ff.

satz gelangen. So wurden in der BASF zur Flugstaubabscheidung in den drei Kraftwerken zunächst Zetrifugalabscheider (Zyklone) eingesetzt, deren begrenzte Leistungsfähigkeit gegenüber feinen Stäuben jedoch ab 1962 den Einbau von Elektrofiltern bewirkt hat. Die Staub- bzw. Flugascheabscheidung konnte hierdurch bis auf weniger als 0,15 g/Nm^3 Luft gesenkt werden (Abb. 101). Die in den anderen Produktionsbetrieben anfallenden Stäube werden entweder nach inniger Berührung mit Waschflüssigkeiten niedergeschlagen (Naßabscheider, Abb. 102) bzw. nach dem Siebprinzip an silikonisierten Glasfasergeweben zurückgehalten (Gewebefilter, Abb. 103).

Bei den G a s e n entscheidet zunächst ihre Brennbarkeit über das einzusetzende Verfahren, eine Eigenschaft, die für gasförmige Rückstände aus petrochemischen Anlagen im Regelfall gegeben scheint. Soweit

FILTERANLAGEN FÜR ORGANISCHE STÄUBE

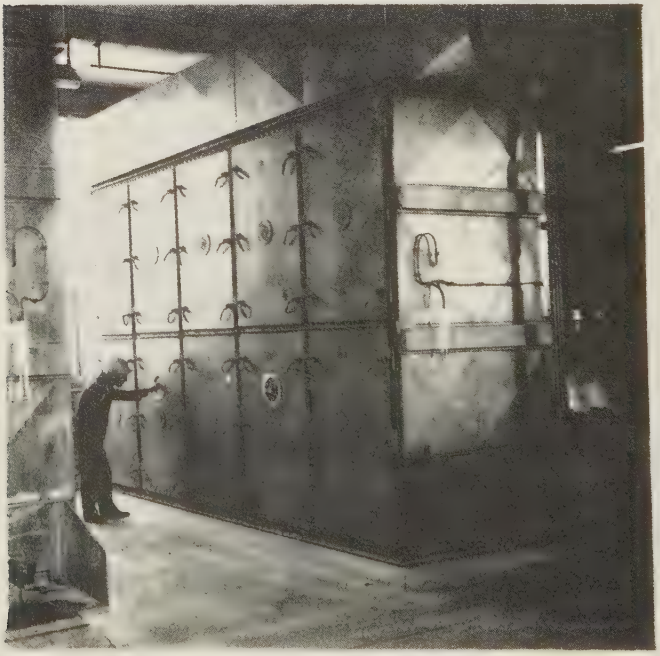


Abb. 103

SYSTEMATIK DER IN DER BASF ZUR LUFTREINHALTUNG EINGESETZTEN VERFAHREN

Emissionsart	Verfahren	Apparat
Stäube	Niederschlagen	Elektrofilter, Zentrifugalabscheider (Zyklone), Gewebefilter, Naßabscheider
Gase	Verbrennen	Fackel, Brennmuffel
	Absorbieren	Festbettabsorptionsturm, Füllkörperkolonne, Zentrifugalwäscher, Tellerwäscher, Strahlsauger, Venturiwäscher
	Adsorbieren	Aktivkohlefilter
	Mischen/Verdünnen	Kamin
Dämpfe/Aerosole	Niederschlagen	Venturiwäscher, Strahlsauger, Drucksprungabscheider, Elektrofilter
Gerüche	Absorbieren/Verbrennen	Wäscher/Fackel

Tab. 104

geringer Heizwert, Giftigkeit, Explosionsgefahr infolge starker Zerfallsneigung u.a. ihren wirtschaftlichen Einsatz zur Energieerzeugung in Kraftwerken ausschließen, verbleibt nur noch ihr Abfackeln über Dach bzw. ihre Verbrennung in Brennmuffeln. Die BASF hat z. Zt. (1969) 85 Abgasfackeln in Betrieb. Nichtbrennbare Abgase werden sowohl absorptiv in Waschflüssigkeiten bzw. adsorptiv an Aktivkohlefiltern gebunden. Dagegen sollen die Schornsteinüberhöhungen (Abb. 121) , Querschnittsverengungen der Rauchgasrohre (Abb. 106) sowie konstruktive Besonderheiten an den Kaminmündungen (Abb. 121) allein den thermischen und dynamischen Auftrieb der Abgase und ihre Verdünnung in der Atmosphäre verbessern helfen, so daß in diesem Zusammenhang mehr von einem

KRAFTWERK NORD
(1942)

Abb. 105

immissions- als emissionsvermindernden Effekt gesprochen werden muß.

Auch für das mit Dämpfen und Aerosolen behaftete Abgas kommen zunächst Verfahren der Naßabscheidung in Betracht. Hier haben sich insbesondere die Venturiscrubber (Abb. 107) und Strahlsauger (Abb. 108) hervorgetan. Ihr Verfahrensprinzip beruht auf der Beschleunigung des Abgases durch Strahleinschnürung bei gleichzeitiger Wasseraufgabe,

KRAFTWERK NORD
(1967)

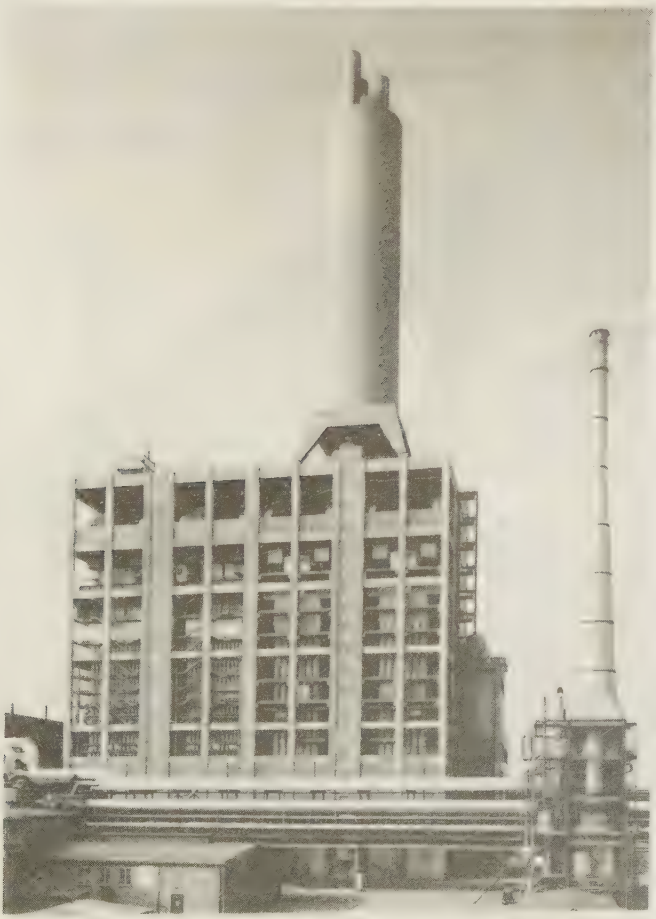


Abb. 106

der innigen Vermischung beider Komponenten in der Zone der größten Gasgeschwindigkeit mit anschließender Separierung. Diese Anlagen arbeiten mit hohen Druckverlusten und erfordern daher einen erheblichen Energieaufwand. Dagegen beruht der Trenneffekt der bei hartnäckigen Staub/SO_3/HCl/NH_4Cl-Aerosolen eingesetzten Drucksprungabscheider auf der Aufteilung des Gasstromes in dünnste Schichten und dessen Umleitung bei hoher Geschwindigkeit.

Schließlich sei noch auf die mit der Beseitigung von organischen geruchsintensiven Stoffen, wie z.B. die bereits erwähnten Amine hingewiesen. Wegen des begrenzten Trenneffekts herkömmlicher Ab-

VENTURIWÄSCHER

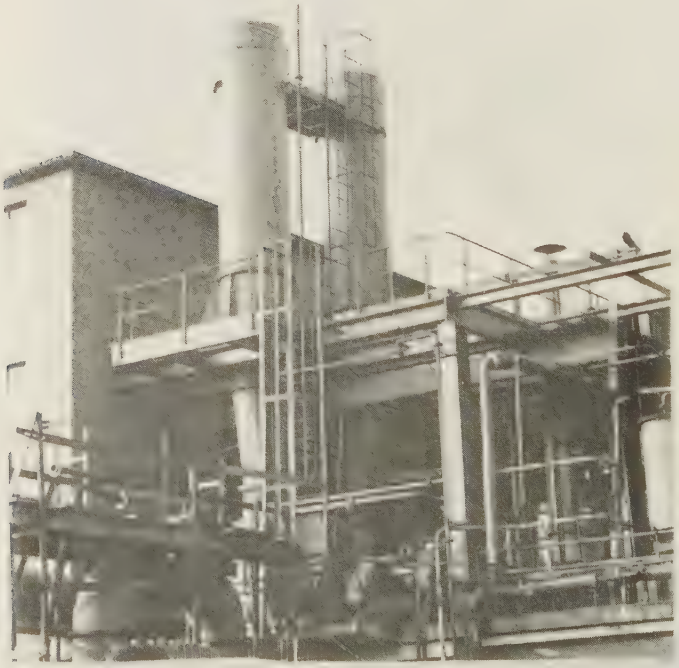


Abb. 107

sorptionsanlagen kann erst die anschließende Verbrennung der Restabgase in einer Fackel, z.B. durch Zumischen von Abfall-Wasserstoff, wirksame Abhilfe schaffen.

5.24 Chemiebetriebliche Überwachung der Abluftsituation

Die entscheidende Voraussetzung für emissionsvermindernde Maßnahmen im Chemiebetrieb ist die Kenntnis gegebener Abluftverhältnisse. Mit ihr läßt sich der Nachweis erbringen, inwieweit kritische Konzentrationswerte - wie die nach TA-Luft für SO_2, H_2S, NO_x, Cl_2, HCl und Staub - überschritten wurden bzw. wie hoch der immissionsvermindernde Effekt spezieller Luftreinhaltungsmaßnahmen zu veranschlagen ist.

STRAHLSAUGER

Abb. 108

Nun ist die Festsetzung von Immissionsgrenzkonzentrationen nicht nur der Höhe nach problematisch: Auch deren Verwendung als Relativgröße für die betriebsindividuelle Luftüberwachung in industriellen Ballungsräumen läßt nur bedingte Schlußfolgerungen zu, weil die Vielzahl der hier wirksamen Luftverunreinigungsquellen sowie der zwischen Emission und Immission liegenden Transport- und Reaktionsmechanismen eine quantitativ-isolierte Betrachtung einzelner Emittenten außerordentlich erschweren. Trotzdem sind die auch

unter derartigen Bedingungen durchgeführten Messungen die z. Zt. einzige Möglichkeit, chemiebetriebliche Bemühungen um Verbesserung der Abluftverhältnisse auf eine objektivere Basis zu stellen [176].

Die BASF bezog ihre Abluftuntersuchungen zunächst auf staubförmige Immissionen. Als Meßverfahren wurden eingesetzt: Ab 1952 das Staubtassenverfahren (BASF-Methode), ab 1961 die Diemsche Haftfolien-Methode sowie ab 1968 das - auch nach der TAL vorgeschriebene - Bergerhoff-Gerät [177]. Die von der BASF inzwischen vorgenommene Umrechnung auf Werte der Diemschen Haftfolienmethode läßt zwar einen unmittelbaren Vergleich mit den entsprechenden Immissionsgrenzwerten nach TAL nicht zu, jedoch haben Untersuchungen des Wetteramtes Freiburg vom Deutschen Wetterdienst im Raum Mannheim/Ludwigshafen gezeigt, daß die Folien z. T. noch höhere Staubkonzentrationen anzeigten als die Bergerhoff-Behälter [178]. Die im Schaubild 110 wiedergegebenen werksinternen Meßergebnisse sind infolge der Mittelung ohnehin weniger mit ihren absoluten Werten, als vielmehr in ihrem trendmäßigen Verlauf zu würdigen: Danach kann unter dem Einfluß der bereits erörterten emissionsvermindernden Maßnahmen das Staubproblem als gelöst betrachtet werden. Ein optischer Vergleich der rheinseitigen Werksansicht

---

176) Gewisse Möglichkeiten der Selektion bieten z. B. SO_2-Konzentrationsmessungen bei gleichzeitiger Berücksichtigung des Windeinflusses sowie der Einsatz der Lidar-Technik bei der Messung von Staubkonzentrationen bestimmter Emissionsquellen auch aus größeren Entfernungen aufgrund rückgestreuten Laser-Lichts. Vgl. Peters, Karl-Heinz: Der Aussagewert richtungsabhängiger SO_2-Konzentrationen. In: Städtehygiene. 20. Jg., Nr. 10/1969, S. 241 ff. sowie Johnson, Warren B.: Lidar applications in air pollution research and control. In: J. Air Pollution Control Association. Bd. 19. Nr. 3/1969, S. 176 ff.

177) Zu meßtechnischen Einzelheiten vgl. VDI-Kommission Reinhaltung der Luft (Hrsg.): VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft. Stand 1969. Band 4. VDI 2119: Staubniederschlagsmessungen. Gerätebeschreibungen und Gebrauchsanweisungen. Ausgabe-Datum September 1962

178) Vgl. Neuwirth, Robert: Die Aerosolverhältnisse im Modellraum. In: Die Ansprüche der modernen Industriegesellschaft an den Raum. 1. Teil. Hannover 1967, S. 97 ff. (Forschungs- und Sitzungsberichte der Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Band XXXIII)

WERK LUDWIGSHAFEN
(Historische Aufnahme)

Abb. 109

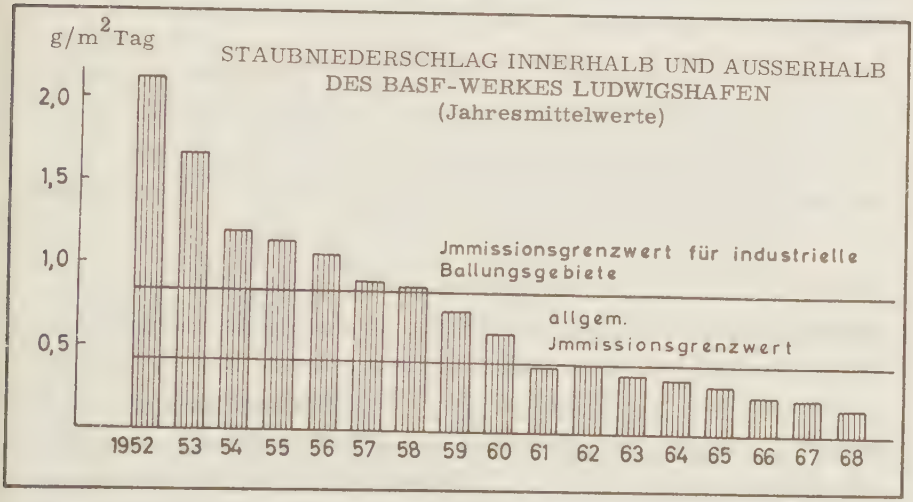


Abb. 110

WERK LUDWIGSHAFEN
(1968)

Abb. 111

aus früheren Zeiten mit dem gegenwärtigen Panorama unterstreicht diese Feststellung besonders eindrucksvoll (Abb. 109, 110 u. 111).

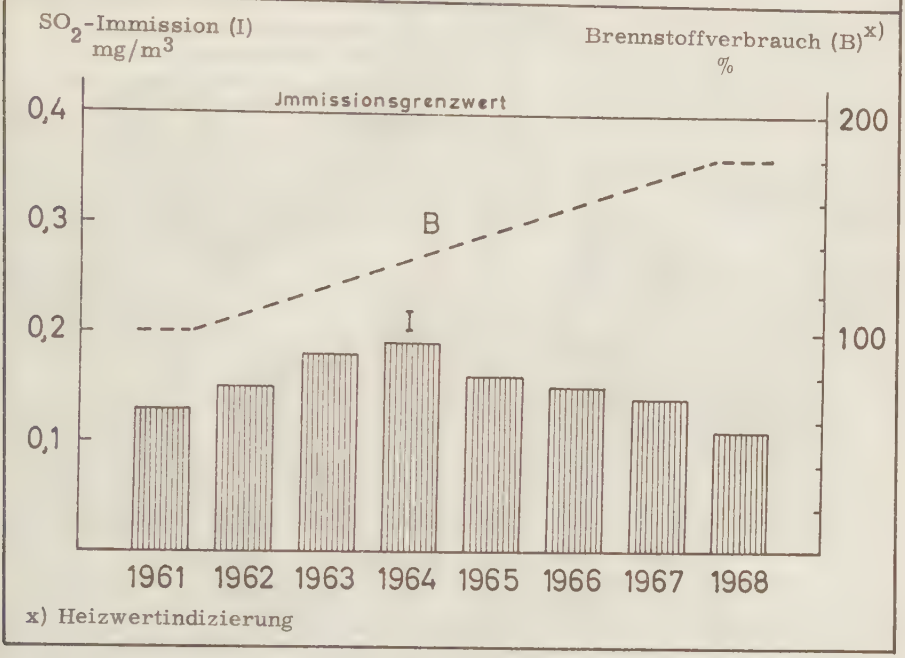
Auch hinsichtlich der Luftreinhaltung von Schwefeldioxid (SO_2) registrierten die nach dem Leitfähigkeitsprinzip kontinuierlich arbeitenden Analysengeräte ("Picoflux", "Ultragas-3") zumindest ab 1964 einen leichten Rückgang. Er ist insofern noch höher einzustufen, als sich gleichzeitig der für die Energieerzeugung maßgebliche Verbrauch fossiler Brennstoffe erheblich steigerte (Abb. 112). Der nach TA-Luft mit 0,4 mg SO_2/m^3 ausgewiesene Immissionsgrenzwert wird 1968 selbst durch die Immissionskenngröße I_2 - einem die Spitzenbelastungen erfassenden Durchschnittswert - unterschritten (Tab. 113).

Für Chlor (Cl_2) und Ammoniak (NH_3) liegen nach bisherigen Ergebnissen die Konzentrationen noch unterhalb der Erfassungsgrenze der verwendeten Analysengeräte ($< 0,02$ mg/m^3). Die entsprechenden Immissionskenngrößen I_1 und I_2 können wegen des noch zu geringen Meßumfanges nicht angegeben werden.

Das Meßstellennetz der BASF umfaßt die in Abb. 114 wiedergegebenen Meßpunkte. Sie werden entweder zur Probennahme vom werkseigenen Meßwagen (Abb. 115 u. 116) in bestimmter Zeitfolge abgefahren oder melden - wie im Fall von SO_2 - über Telefonleitungen die jeweiligen Konzentrationen als Halbstunden-Mittelwerte an das gasanalytische Laboratorium im Werk. Es ist geplant, diese Werte in Verbindung mit den jeweiligen Windverhältnissen sowie sonstigen Wetterdaten durch Computer auszuwerten. Die entsprechenden Einrichtungsarbeiten werden in Kürze abgeschlossen sein. Zu den Aufgaben des ebenfalls mit kontinuierlich arbeitenden Geräten ausgestatteten Meßwagen zählt auch die Quellenermittlung verdächtiger Emissionen - z. T. in Verbindung mit lufthygienischen Arbeitsplatzuntersuchungen (z. B. CO) - sowie ggf. das Veranlassen von Gegenmaßnahmen.

Der Überwachung sichtbarer Emissionen innerhalb des Werksgeländes dienen 2 mit Variooptik (Gummilinse) ausgerüstete schwenk- und neigbare Fernsehkameras (Abb. 117). Unsichtbare Emissionen können nur

BRENNSTOFFVERBRAUCH DES BASF-WERKES LUDWIGSHAFEN UND SO_2 - IMMISSION



x) Heizwertindizierung

Abb. 112

SO_2-IMMISSION INNERHALB UND AUSSERHALB DES BASF-WERKES LUDWIGSHAFEN (mg/m^3)

Jahr	Jahresmittelwert	Immissionskenngrößen	
		I_1	I_2
1967	0,14	0,11	0,38
1968	0,11	0,09	0,27

I_1 = statistisch korrigierter Mittelwert zur Bewertung von Dauerbelastungen,

I_2 = statistisch korrigierter Höchstwert zur Bewertung von Spitzenbelastungen

Tab. 113

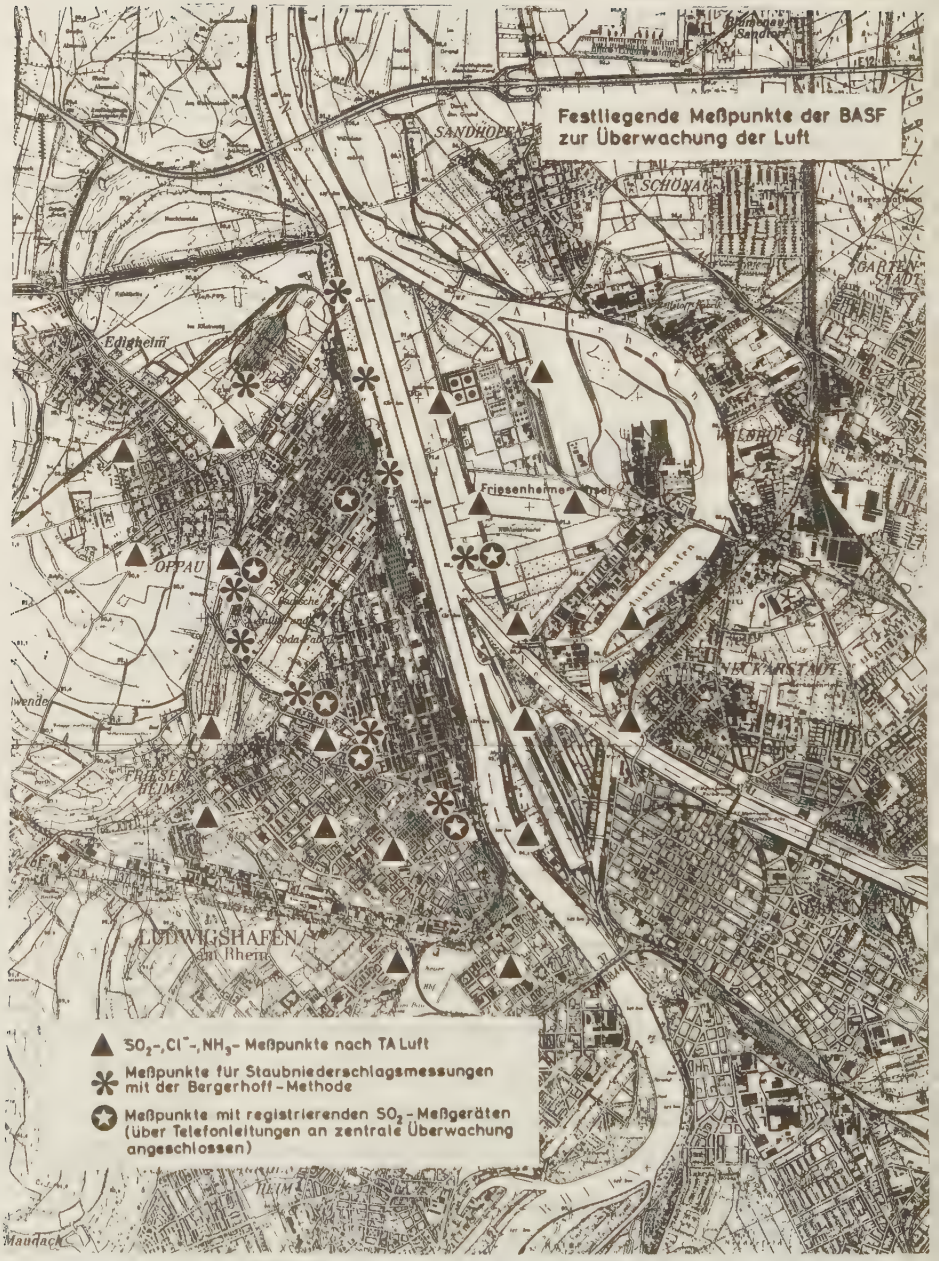

Festliegende Meßpunkte der BASF zur Überwachung der Luft
SANDHOFEN
SCHÜNAU
GARTENSTADT
Edigheim
Frisenheimer Insel
OPPAU
Hafenbecken
Soda-Fabrik
LUDWIGSHAFEN
am Rhein
Maudach
▲ SO_2-, Cl^--, NH_3- Meßpunkte nach TA Luft
✱ Meßpunkte für Staubniederschlagsmessungen mit der Bergerhoff-Methode
✪ Meßpunkte mit registrierenden SO_2-Meßgeräten (über Telefonleitungen an zentrale Überwachung angeschlossen)

Abb. 114

LUFTMESSWAGEN
(mit ausgefahrenem Windmeßgerät)

Abb. 115

LUFTMESSWAGEN
(Innenausstattung)

Abb. 116

durch direkte Messungen an der jeweiligen Quelle, wie z.B. laufend am Kamin der Müllverbrennungsanlage, auf ihre Zulässigkeit hin überprüft werden.

5.3 Kosten der chemiebetrieblichen Luftreinhaltung

Die Frage nach den im Chemiebetrieb anfallenden Luftreinhaltungskosten ist ungleich schwieriger zu beantworten als für die übrigen beiden Kategorien des Umweltschutzes - der Abwasserreinigung und der Abfallstoffbeseitigung. Das liegt weniger am allgemeinen Problemgehalt dieser Kostenart: "Auflagencharakter", "Betriebsindividualität", "nur bedingt gültiges Kostenverursachungsprinzip und das damit verbundene Entstehen

EMISSIONSÜBERWACHUNG MIT FERNSEHKAMERA

Abb. 117

von social costs" sind Stichworte, die auch hier ihre volle Gültigkeit haben. Der Unterschied ist vielmehr in der betriebsräumlichen Verteilung der Entsorgungsmanipulationen zu sehen: Abfallstoffbeseitigung und Abwasserreinigung sind trotz bestimmter Vorreinigungsmaßnahmen in den Betrieben z e n t r a l e Aufgabenbereiche. Ihre verfahrenstechnische Trennung vom übrigen Produktionsgeschehen begünstigt die Bildung funktionsbezogener Kostenstellen und damit die möglichst verursachung gerechte Erfassung des jeweiligen Kostenvolumens. Anders bei der Luftreinhaltung: Die hier bereits in den Produktionsbetrieben vorgenommenen Entsorgungsmanipulationen sind zumeist integrierender Bestandteil der technisch-apparativen Reaktionsführung, so daß die in diesem Zusammenhang anfallenden Kosten erst nach entsprechender Aufbereitung zu ermitteln sind. Die BASF hat in der Vergangenheit diesen Weg leider nicht beschritten und damit auf die getrennte Erfassung der in den Produktionsbetrieben anfallenden Luftreinhaltungskosten weitgehend verzichtet.

Aber auch die Frage, w a s überhaupt als kostenmäßig zu erfassende Luftreinhaltungsmaßnahme anzusehen ist, bleibt durchaus problematisch. Vergegenwärtigen wir uns hierzu die lufthygienisch-relevanten ingenieurtechnischen Möglichkeiten, so zeigt bereits die Gegenüberstellung von

(1) Verfahrensänderungen und

(2) Einsatz spezieller Abgasreinigungsverfahren

kostenrechnerische Inkommensurabilität an. Während Abgasreinigungsverfahren wegen ihrer eindeutig abluftbezogenen Funktion eine 100 %ige Zuordnung der mit ihrem Einsatz verbundenen Investitions- und Betriebskosten gestatten, ist bei Verfahrensumstellungen eine derartige Möglichkeit nicht ohne weiteres gegeben: Sie entspringen - soweit nicht durch Auflagen erzwungen - primär beschaffungs- und/oder absatzwirtschaftlichen Überlegungen und verbinden Rentabilitätsvorteil mit g l e i c h f a l l s verbesserter Abluftsituation. So wurde der staubemissionsvermindernde Verfahrenswechsel bei der Carbiderzeugung vom herkömmlichen Lichtbogenofen auf die Kohlenwasserstoff-Spaltung (Pyrolyse) erst durchgeführt, als die Rückgriffsmöglichkeit auf kostengünstig im Verbund erzeugte

petrochemische Rohstoffe eine derartige Umstellung auch betriebswirtschaftlich interessant machten. Entsprechendes gilt auch für das Ausweichen auf Heizöl als Energieträger (Tab. 118):

ROHSTOFFPREISE FREI LUDWIGSHAFEN A. RH. FÜR KOKS, ROHBENZIN UND HEIZÖL [179] (1967)

	Koks	Rohbenzin	Heizöl
DM/t	100,--	85,--	55,--
DM/10^6 kcal	14,70	7,10	5,60

Tab. 118

Ebenso darf die großtechnische Verwirklichung des Prinzips der Doppelkatalyse bei der Schwefelsäurefabrikation, deren physiko-chemische Gesetzmäßigkeiten schon seit langem bekannt waren, mit ihrem zusätzlichen Investitionsbedarf an Reaktionsöfen, Wärmeaustauschern und Absorptionstürmen nicht losgelöst vom marktbedingten Kapazitätsausbau und den damit veränderten Amortisationsmöglichkeiten gesehen werden.

Vor diesem Hintergrund wird verständlich, weshalb die BASF die insgesamt anfallenden Luftreinhaltungskosten z. Zt. nicht anzugeben vermag. Ausgenommen hiervon sind Einzelmaßnahmen, wie z. B. die mit rd. 40 Mio. DM bezifferten Bemühungen um die Verminderung der Nitrosefahne oder die Entstaubung des noch mit Kohle betriebenen Kraftwerks Mitte, die allein 3,85 Mio. DM verursachte. Der abluftbezogene Investitionsbedarf für petrochemische Neuanlagen wird mit 2 - 7 % der Gesamtinvestition angegeben.

Einen ersten Anhaltspunkt zumindest für die Größenordnungen der baulichen Maßnahmen zum betrieblichen Immissionsschutz geben die nach § 51 Abs. 1 Ziff. 2 o EStG bzw. § 82 EStDV steuerlich genutzten Sonderabschreibungsmöglichkeiten (Tab. 119). Sie sollen sich nach dem Steuer-

179) Timm, Bernhard: Wettbewerb zwischen Kohle und Erdöl bei der Rohstoffversorgung der chemischen Großindustrie. In: Chemie-Ingenieur-Technik. 40. Jg., Nr. 1/2/1968, S. 1

änderungsgesetz 1969 [180] auf "bewegliche Wirtschaftsgüter des Anlagevermögens (beziehen), die unmittelbar und ausschließlich dazu dienen, die Verunreinigung der Luft zu verhindern, zu beseitigen oder zu verringern". Ergänzend heißt es jedoch, daß sie "auch (dann) zugelassen werden, wenn aufgrund behördlicher Anordnung ausschließlich aus Gründen der Luftreinhaltung bei ..... Anlagen, bei denen durch chemische Verfahren Luftverunreinigungen entstehen, Umstellungen und Veränderungen vorgenommen .... werden". Ein gewisser Zuordnungsspielraum ist damit auch hier gegeben.

SONDERABSCHREIBUNGEN FÜR MASSNAHMEN DER BASF ZUR LUFTREINHALTUNG
(in 1000 DM/Jahr)

1964	1965	1966	1967	1968
673	1 641	3 133	5 912	2 745

Tab. 119

Zu den vom Bund darüber hinaus gewährten finanziellen Hilfen zum Bau von Anlagen zur Reinhaltung der Luft zählen insbesondere noch die Kredite aus dem ERP-Sondervermögen sowie als Ergänzung hierzu die Übernahme von Bürgschaften durch die Kreditanstalt für Wiederaufbau, Frankfurt/Main mit Rückbürgschaft des Bundes. Die den Unternehmen auferlegte Pflicht, sich an der Finanzierung der entsprechenden Maßnahmen gemäß ihrer Vermögens-, Liquiditäts- und Ertragslage zu beteiligen sowie die nur im geringen Umfang zur Verfügung stehenden Mittel, lassen die Kreditbedürftigkeit chemischer Großbetriebe jedoch in der Regel verneinen [181].

---

80) Gesetz über die Gewährung von Investitionszulagen und zur Änderung steuerrechtlicher und prämienrechtlicher Vorschriften (Steueränderungsgesetz 1969) v. 18.8.1969. BGBl I S. 1211

81) Vgl. Bundesschatzministerium (Hrsg.): ERP-Kredite für die deutsche Wirtschaft 1969, a.a.O., S. 105

6 Zusammenfassung

Gemäß der einleitend vermerkten Zielsetzung wurde mit dieser Analyse der Versuch unternommen, die Probleme der chemieindustriellen Wasserversorgung und Umwelthygiene als Teilaspekte des betrieblichen Standortproblems darzustellen. Die hinsichtlich Leistungsprogramm, Fertigungsorganisation und Prozeßführung bestehenden Besonderheiten der Chemischen Industrie legten es nahe, dabei nicht nur die betriebsindividuellen Anforderungskategorien an den Raum quantitativ und qualitativ zu formulieren, sondern zugleich die in diesem Zusammenhang zu beobachtenden Wechselwirkungen zwischen chemieindustrieller Zivilisation und natürlicher Umwelt einschließlich ihrer reaktions- und verfahrenstechnischen Sachzwänge aufzuzeigen.

Am Beispiel der Badischen Anilin- & Soda-Fabrik AG (Werk Ludwigshafen am Rhein) konnte nachgewiesen werden, daß sowohl die Wasserversorgung, als auch die Abwasserreinigung, Abfallstoffbeseitigung und Luftreinhaltung einen standörtlichen Bedeutungswandel erfahren haben. Die produktionswirtschaftliche Dynamik des historisch gewachsenen Unternehmens erzwang nicht nur einen verstärkten Rückgriff auf das natürliche bzw. in kommunaler Regie bereitgestellte Wasser- und Landangebot, sondern bewirkte zugleich vielfältige Beeinträchtigungen der Umwelthygiene, die es nach Maßgabe behördlicher Auflagen nunmehr einzuschränken gilt.

Die von der traditionellen Standortlehre bei derartigen Veränderungen regionalwirtschaftlicher Datenkonstellationen aufgezeigten räumlichen Reaktionsmöglichkeiten (Standortspaltung, Standortverlagerung) sind für einen Chemiebetrieb von der dargestellten Größenordnung der BASF nur partiell durchführbar[182]. Der Betrieb wird stattdessen bestrebt sein,

---

182) Für die Standortwahl der nach dem Stammwerk Ludwigshafen bedeutendsten Produktionsstätte im Hafen- und Industriegebiet von Antwerpen ("BASF Antwerpen N. V.) sprachen u. a. auch die verminderten Anforderungen an den chemiebetrieblichen Umweltschutz hinsichtlich Abluft und Abwasser; letztlich entscheidend waren jedoch die dortigen Betriebsraumverhältnisse, das Energiepreisniveau und Arbeitskräfte-

durch innerbetriebliche Maßnahmen, wie produktionstechnische Umstrukturierungen bzw. spezifische Entsorgungsmanipulationen, die auferlegten Bedingungen zu erfüllen. Soweit nicht zwingend vorgeschrieben, orientieren sich diese Maßnahmen am Kriterium ihrer technisch-wirtschaftlichen Vertretbarkeit.

Das gilt auch für den geplanten Einsatz der Kernenergie als Primärenergiequelle. Von ihm ist eine spürbare Entlastung der regionalen Immissionsverhältnisse von typischen Abluftkomponenten der noch mit fossilen Brennstoffen arbeitenden Kraftwerke zu erwarten (SO_2, Staub, Ruß). Die Umstellung auf Kernenergie entspringt jedoch rein wirtschaftlichen Überlegungen (Tab. 120):

KOSTENVERGLEICH VERSCHIEDENER KRAFTWERKSTYPEN[183)x)]

	Kohlekraftwerk	Ölkraftwerk	Kernkraftwerk (Leichtwasserreaktor)
Investitionen	100	90	110
Brennstoff- und Betriebskosten xx)	100	70	30
Kosten pro kWh xxx)	100	75	55

x) Die Vergleichszahlen gelten jeweils für Gegendruckkraftwerke mit 600 Megawatt elektrischer Leistung und für den Standort Ludwigshafen. Die Investitionssumme für das Kernkraftwerk umfaßt die bisher üblichen Sicherheitseinrichtungen.

xx) Ein Reaktor für 600 Megawatt elektrische Leistung enthält etwa 1,5 t spaltbares Uran. Die daraus gewinnbare Energie entspricht dem Heizwert von etwa 4 Mio. t Steinkohle oder 3 Mio. t Heizöl. Aus diesem geringen Brennstoffbedarf eines Kernreaktors ergibt sich, daß trotz des relativ hohen Uranpreises die Brennstoffkosten je kWh in einem Kernkraftwerk nur etwa halb so hoch sind wie in einem Ölkraftwerk und nur etwa ein Drittel so hoch wie in einem mit Steinkohle betriebenen Kraftwerk.

xxx) einschließlich Kapitalzinsen und Amortisation

Tab. 120

---

potential, die Transportkostensituation auf der Beschaffungs- und Absatzseite sowie steuerliche Gesichtspunkte.

183) Entnommen aus: Danz, Willi: Darlegung und Begründung des Projekts zur Errichtung eines Kernkraftwerks im Verbund mit der

Praktisch bedeutungslos werdende Transport- bzw. Förderkosten des Brennstoffeinsatzes, ein extrem hoher Strom- und Dampfbedarf[184] der Chemieproduktion und damit die Chance zur optimalen Kapazitätsauslastung bzw. Fixkostendegression haben auch die BASF veranlaßt, ein Kernkraftwerk zu projektieren und (wegen der Transportempfindlichkeit von Prozeßdampf) standortlich in den bestehenden Industriekomplex zu integrieren (Abb. 121). Ausgestattet mit zwei Siemens-Druckwasserreaktoren, die eine thermische Leistung von je 2000 MW_{th} entwickeln, soll die Reaktoranlage eine Prozeßdampfmenge von 2 x 1000 t/h sowie eine elektrische Leistung von 2 x 481 MW_e, insgesamt mithin 2 x 600 MW erzeugen. Das geplante Vorhaben stellt damit eines der größten Kernkraftwerksprojekte der Bundesrepublik dar[185].

Wenn auch mit dem Betrieb eines Kernkraftwerks herkömmliche Emissionen vermieden werden können, so ergeben sich andererseits allein aus dem Einsatz spaltbaren Materials völlig neuartige abfallwirtschaftliche Probleme mit den entsprechenden Gefahren einer radiologischen Umweltbelastung. Sie zu verhindern bzw. innerhalb höchstzulässiger Aktivitätskonzentrationen zu halten ist das Ziel spezieller Abschirmungs-, Reinigungs- und Aufbereitungsmaßnahmen einschließlich der schadlosen Endablagerung der aus dem Abwasser bzw. der Abluft isolierten und in Abluftfiltern, in Verdampfungsrückständen, auf Ionenaustauscherharzen usw. angereicherten radioaktiven Spalt- und Aktivierungsprodukte.

Für das BASF-Projekt ergeben sich aus der Großstadtnähe erhöhte Sicherheitsanforderungen gegenüber mögliche Störfälle im Reaktorbetrieb. Die vom Institut für Reaktorsicherheit der Technischen Überwachungs-Vereine e.V. Köln 1969 erarbeitete "Störanfallanalyse" kommt

---

BASF in Ludwigshafen. Vortrag einer Veranstaltung der Industrie- und Handelskammer für die Pfalz, Ludwigshafen am 3.6.1969. BASF-Sonderdruck, S. 7

184) Von den Fertigungskosten des Werkes Ludwigshafen entfielen 1968 rd. 30 % (= 400 Mio. DM) auf Energiekosten.

185) Vgl. o.V.: Die deutschen Kernkraftwerksprojekte. In: Atomwirtschaft. 15. Jg., Nr. 4/1970, S. 166 ff.

zwar zu dem Ergebnis, "daß die im Kernkraftwerk möglichen Störfälle ..... innerhalb zulässiger oder zumutbarer Grenzen beherrschbar sind bzw. durch geeignete Maßnahmen mit hinreichender Sicherheit ausgeschlossen werden können". Die im Gegensatz hierzu von zahlreichen Fachleuten vorgetragenen Bedenken sowie die noch zu geringen Erfahrungen mit Kernkraftwerken innerhalb dichtbesiedelter Gebiete veranlaßte jedoch das im Genehmigungsverfahren neben Landesregierung, Gemeinde und anderen Gebietskörperschaften ebenfalls beteiligte Bundeswissenschaftsministerium, seine Entscheidung über die endgültige atomrechtliche Genehmigung für etwa 2 Jahre zurückzustellen (Beschluß v. 17.8.1970). Mit dem Bau des Kernkraftwerks sollte im Frühjahr 1971 begonnen werden, die Inbetriebnahme war für 1975 geplant.

Ein nicht weniger spektakuläres Problem ist der enorme Kühlwasserbedarf eines Kernkraftwerks. Die anfallenden Abwärmemengen sind hier nicht nur absolut, sondern auch spezifisch größer als bei konventionellen Dampf-Stromerzeugungsanlagen. Allein die BASF beziffert den zusätzlichen Kühlwasserbedarf mit rd. 1 Mrd. m^3/a, was praktisch einer Verdopplung des gegenwärtigen Gesamtwasserverbrauchs gleichkommt.

Isoliert betrachtet, mag auch hier die hohe Wasserführung des Rheins den thermischen Belastungseffekt in vertretbaren Grenzen halten. Berücksichtigt man jedoch zusätzlich die in Standortnähe projektierten Kernkraftwerke [186], so werden allein wegen der nur langsam verlaufenden Wiederabkühlung des erwärmten Flußwassers [187] schwere Schädi-

---

186) So die Kernkraftwerke "Biblis" (bei Worms), "Mannheim Nord" (Kirschgartshausen, nördlich Mannheim) und "KBE" (Philippsburg/Rhein, Rheinschanzinsel). Vgl. o.V.: Die deutschen Kernkraftwerksprojekte, a.a.O., S. 166 f. und o.V.: Neue deutsche Kernkraftwerke - Anlagen in Bau. In: Atomwirtschaft. 15. Jg., Nr. 4/1970, S. 170

187) Vgl. hierzu die Ergebnisse einer Untersuchung der Bundesanstalt für Gewässerkunde in Koblenz über die Auswirkungen der Einleitung von Warmwasser auf die Gewässer. Auszugsweise wiedergegeben in o.V. (Sr.): Stets auf der Suche nach Kühlmitteln. In: Zeitung für kommunale Wirtschaft (ZfK). O.Jg., Nr. 9/1969, S. 14

gungen des ökologischen Gleichgewichts nicht auszuschließen sein. Wasserwirtschaftler fordern daher eine konsequente Abkehr von der bisherigen Flußfrischwasserkühlung nach dem Durchflußsystem. Stattdessen sollen im Kreislauf betriebene Rückkühlanlagen den natürlichen Vorfluter von zusätzlichen Wärmemengen freihalten. Die mit dem Bau von Kühltürmen bzw. Luftkühlaggregaten verbundenen Investitions- und Betriebskosten senken zwar kurzfristig die Wirtschaftlichkeit der Kernenergieerzeugung[188]; langfristig wären sie bei der begrenzten Kühlkapazität des Rheins ohnehin nicht zu vermeiden.

Es mag der Chemischen Industrie - und nicht nur ihr - anzulasten sein, daß sie die Fragen des Umweltschutzes weniger unter dem Blickwinkel gesellschaftlicher Daseinsvorsorge als vielmehr betriebswirtschaftlicher Zweckmäßigkeit zu sehen bereit ist. Solange jedoch Gesetzgebung und gebietskörperschaftliche Exekutive ihr diesen Ermessensspielraum zubilligen, bewegt sie sich nur im Rahmen der Rechtsordnung.

---

188) Vgl. Wolfskehl, Otto: Wasser und Kraftwirtschaft. Referat der Gas- und Wassertagung v. 12.-14.5.1970 in Essen. Zitiert in: O.V. (GB): Kühlen wird kostspielig. In: Zeitung für Kommunale Wirtschaft (ZfK), o.Jg., Nr. 5/1970 v. 16.5.1970, S. 1 f.

WERK LUDWIGSHAFEN (RHEIN) BASF

(Gesamtansicht) als Luftaufnahme (Ge-
meinsame Einrichtungen der Wasser-
versorgung, Abwasserreinigung, Ab-
fallbeseitigung und Luftreinhaltung)

Aufn.: 03

7 Anhang

ANTEIL DER CHEMISCHEN INDUSTRIE AM GESAMTEN UND INDUSTRIELLEN WASSERAUFKOMMEN DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND [1) 2)]

Jahr	Gesamtwasser-aufkommen	Industrielles Wasseraufkommen		Wasseraufkommen der Chemischen Industrie		
		Anteil am Gesamtwasseraufkommen		Anteil am Gesamtwasser- / ind. Wasseraufkommen		
	Mrd. m^3/a	Mio. m^3/a	%	Mio. m^3/a	%	%
1951 [3)]	6,6	4 399	66,6	1 135	17,2	25,8
1952 [4)]	6,9	4 576	66,4	1 168	16,9	25,6
1955 [5)]	8,4	5 956	70,9	1 617	19,2	27,2
1957 [6)]	10,0	7 644	76,4	1 978	19,8	25,9
1959 [7)]	12,3	9 679	78,7	2 402	19,5	24,8
1961 [8)]	12,8	10 438	81,6	2 549	19,9	24,4
1963 [9)]	13,3	10 733	80,7	2 756	20,7	25,6
1965 [10)]	13,8	11 390	82,4	3 003	21,7	26,4
1967						

zu Abb. 6 (S. 30)

1) In das industrielle Wasseraufkommen wurden die öffentlichen Betriebe der Elektrizitäts-, Gas- und Wasserversorgung nicht mit einbezogen.

2) Die Lückenhaftigkeit des statistischen Nachweises konnte vom Verfasser nur teilweise behoben werden, so daß sich o.g. Zahlenangaben wie folgt verstehen:
1951 - 1957 Bundesgebiet ohne Saarland und Berlin (West),
1959 - 1965 Bundesgebiet einschließlich Saarland und Berlin (West).
Die zusätzliche Berücksichtigung des Saarlandes und Berlin (West) im Zeitraum 1959 - 1965 läßt das industrielle Wasseraufkommen nur in der Größenordnung von 0,5 Mrd. m^3/a anwachsen. Auf die Prozentsätze des Wasseraufkommens der Chemischen Industrie wirkt sich allerdings der extrem geringe Anteil der saarländischen chemischen Industrie am gesamten Industriewasseraufkommen dieses Landes (< 0,1 %) mit einer durchschnittlichen Senkung von 1,8 % aus.

3) Errechnet bzw. übernommen aus: Bundesministerium für Wirtschaft (Hrsg.): Die Wasserversorgung der Industrie im Bundesgebiet 1951, a.a.O. Für Bremen und Hessen, die sich an der Zusatzerhebung zum Industriebericht 1952 nicht beteiligten, wurde der Industriewasserverbrauch vom Bundesministerium für Wirtschaft zu 170 Mio. m^3/a geschätzt. Der Anteil der Chemischen Industrie in diesen Ländern wurde vom Verf. nach Maßgabe der sich für 1952 ergebenden Anteile auf rd. 29 % = 50 Mio. m^3/a geschätzt.

4) Errechnet bzw. übernommen aus: Bundesministerium für Wirtschaft (Hrsg.): Die Wasserversorgung der Industrie im Bundesgebiet 1952. Als Manuskript vervielfältigt. Bonn 1954. Für Baden-Württemberg und Bayern, die sich an der Zusatzerhebung zum Industriebericht 1953 nicht beteiligten, wurde der Industriewasserverbrauch vom Bundesministerium für Wirtschaft zu 920 Mio. m^3/a geschätzt. Der Anteil der Chemischen Industrie in diesen Ländern wurde vom Verf. nach Maßgabe der sich für 1951 ergebenden Anteile auf rd. 24 % = 220 Mio. m^3/a geschätzt.

5) Errechnet bzw. übernommen aus: Bundesministerium für Wirtschaft (Hrsg.): Die Wasserversorgung der Industrie im Bundesgebiet 1955. Als Manuskript vervielfältigt. Bonn 1957

6) Errechnet bzw. übernommen aus: Bundesministerium für Atomkernenergie und Wasserwirtschaft (Hrsg.): Die Wasserversorgung der Industrie im Bundesgebiet 1957. Als Manuskript vervielfältigt. Bad Godesberg 1960

7) Errechnet bzw. übernommen aus: Bundesministerium für Gesundheitswesen (Hrsg.): Die Wasserversorgung der Industrie im Bundesgebiet 1959. Als Manuskript vervielfältigt. Bad Godesberg 1963. Da in diesem Bericht der Anteil öffentlicher Wasserversorgung von Berlin (West) unberücksichtigt blieb, wurde er folgender Quelle mit 137 458 Mio. m^3/a entnommen: Deutscher Verein von Gas- und Wasserfachmänner e.V. (DVGW), Verband der Deutschen Gas- und Wasser-

werke e.V. (VGW) (Hrsg.): 70. und 71. Wasserstatistik. Berichtsjahre 1958 und 1959. Frankfurt/Main 1961, S. 16. Wegen fehlender Unterlagen beim Statistischen Landesamt Berlin, Abt. Industrieberichterstattung wurde auch das industrielle Wasseraufkommen von Berlin (West) bzw. der auf die Chemische Industrie entfallende Teil durch Rückrechnung auf 55 Mio. m^3 bzw. 11 Mio. m^3 geschätzt.

8) Errechnet bzw. übernommen aus: Bundesministerium für Gesundheitswesen (Hrsg.): Die Wasserversorgung der Industrie im Bundesgebiet 1961. Als Manuskript vervielfältigt. Bad Godesberg 1965

9) Errechnet bzw. übernommen aus: Bundesministerium für Gesundheitswesen (Hrsg.): Die Wasserversorgung der Industrie im Bundesgebiet 1963. Als Manuskript vervielfältigt. Bad Godesberg 1966

10) Errechnet bzw. übernommen aus: Bundesministerium für Gesundheitswesen (Hrsg.): Die Wasserversorgung der Industrie im Bundesgebiet 1965. Bad Godesberg 1968. -- Im Gegensatz zu den Veröffentlichungen der Vorjahre enthält o.g. Quelle erstmalig keine Angaben zum Gesamtwasseraufkommen (Industrie + öffentliche Wasserwerke) der Bundesrepublik im Jahre 1965. Auch die schriftliche Anfrage beim Bundesminister für Gesundheitswesen, Referat III A 3 (Wasserversorgung) blieb ohne Erfolg, da "auch (dort) keine statistischen Unterlagen über das Gesamtwasseraufkommen in der Bundesrepublik vor(liegen)" (!) (Dr. Diesel). Abweichend vom Grundsatz der Quellenkontinuität muß daher auf die DVGW/VGW-Statistik zurückgegriffen werden, die für die 1965 erfaßten 1217 öffentlichen Wasserwerke eine Gesamtwasserabgabe von 3,6 Mrd. m^3 ausweist. Unter Berücksichtigung des industriellen Fremdbezuges von 1,2 Mrd. m^3, der im wesentlichen von den öffentlichen Wasserwerken stammen dürfte, ergibt sich als Gesamtwasseraufkommen 1965: (3,6 - 1,2) + 11,4 = 13,8 Mrd. m^3. Vgl. Deutscher Verein von Gas- und Wasserfachmänner e.V. (DVGW), Verband der Deutschen Gas- und Wasserwerke e.V. (VGW) (Hrsg.): 76. und 77. Wasserstatistik. Berichtsjahre 1964 und 1965. Frankfurt/Main 1967, S. 17*

DAS WASSERAUFKOMMEN DER INDUSTRIE NACH INDUSTRIEZWEIGEN [1]
(1965)

Industriezweig	1000 m^3/a	%
1. Chemische Industrie (ohne Kohlenwertstoffindustrie	3 003 125	26,4
2. Kohlenbergbau	2 895 440	25,4
3. Eisenschaffende Industrie	1 796 188	15,8
4. Holzschliff, Zellstoff, Papier und Pappe erzeugende Industrie	828 602	7,3
5. Mineralölverarbeitung	437 601	3,8
6. Industrie d. Steine und Erden	332 809	2,9
7. Textilindustrie	248 160	2,2
8. Straßenfahrzeugbau	219 931	1,9
Übrige Industriezweige	1 628 343	14,3
Insgesamt	11 390 199	100,0

1) Errechnet bzw. übernommen aus: Statistisches Bundesamt, Wiesbaden (Hrsg.): Wasserversorgung der Industrie 1965, a.a.O., S. 5

zu Abb. 7 (S. 32)

ANTEIL DER CHEMISCHEN INDUSTRIE AM INDUSTRIELLEN WASSERVERBRAUCH DER BUNDESLÄNDER [1] (1965)

Bundesland	Industrieller Wasserverbrauch		Anteil der Chemischen Industrie	
	1000 m^3	%	1000 m^3	%
Nordrhein-Westfalen	5 741 712	50,5	1 240 707	21,6
Rheinland-Pfalz	1 063 605	9,3	869 314	81,7
Bayern	964 918	8,5	250 794	26,0
Hessen	906 652	8,0	392 647	43,4
Baden-Württemberg	840 388	7,4	2)	18,4 (?)
Saarland	664 180	5,8	476	0,1
Niedersachsen	518 175	4,5	47 405	9,2
Hamburg	314 943	2,7	17 376	5,5
Bremen	188 965	1,7	2)	0,3 (?)
Schleswig-Holstein	115 352	1,0	11 205	9,7
Berlin (West)	71 309	0,6	15 192	21,3
Bundesgebiet	11 390 199	100	3 003 125	26,4

1) Errechnet bzw. übernommen aus: Bundesministerium für Gesundheitswesen (Hrsg.) : Die Wasserversorgung der Industrie im Bundesgebiet 1965, a.a.O., S. 24 ff.

2) Aus Gründen der Geheimhaltung von Einzelangaben nicht veröffentlicht, aber in der Gesamtsumme enthalten. Damit ergibt sich zur Summe des chemieindustriellen Wasseraufkommens eine Differenz von 158,009 Mio. m^3. Zur Berechnung des Chemieanteils mußten daher die entsprechenden Angaben für 1963 herangezogen werden:
Baden-Württemberg: Gesamte Industrie = 823,885 Mio. m^3, Chemieanteil = 151,040 Mio. m^3 (= 18,4 %),
Bremen : Gesamte Industrie = 166,893 Mio. m^3, Chemieanteil = 0,496 Mio. m^3 (= 0,3 %).

zu Abb. 8 (S. 34)

FLUSSWASSERFÖRDERUNG DER BASF

Jahr	Mio. m^3	Jahr	Mio. m^3	Jahr	Mio. m^3	Jahr	Mio. m^3
1870		1896	13,6	1921	151,1	1946 x)	180
1	0,8	7	15,2	2	182,9	7 x)	220
2	0,9	8	16,5	3	80,6	8	239
3	1,2	9	20,0	4	155,3	9	232
4	1,4	1900	23,9	5	212,7	1950	286
5	1,5	1	32,5	6	243,5	1	334
6	1,6	2	35,7	7	274,8	2	353
7	2,1	3	41,3	8	281,9	3	399
8	2,4	4	30,6	9	281,5	4	507
9	2,6	5 x)	29,2	1930	188,3	5	563
1880	2,8	6	34,4	1	123,7	6	644
1	3,0	7	35,2	2	115,8	7	706
2	3,7	8	35,2	3	137,3	8	741
3	4,4	9	44,4	4	179,6	9	773
4	4,6	1910	44,7	5	224,6	1960	733
5	4,9	1	48,1	6	285,4	1	712
6	5,2	2	55,2	7	316,6	2	706
7	5,5	3	62,2	8	332,3	3	742
8	5,9	4	59,9	9	372,5	4	804
9	7,2	5	57,8	1940	387,5	5	772
1890	8,0	6	98,5	1 x)	415	6	863
1	8,4	7	120,9	2 x)	450	7	913
2	9,5	8	130,5	3 x)	420	8	1001
3	9,9	9	48,5	4 x)	295	9	1066
4	10,5	1920	134,5	5	48	1970	
5	12,0						

x) Ab 1905 sichere Angaben. Für die Jahre 1941-44, 1946 und 1947 mußte die Werte schätzungsweise einem Diagramm im unveröffentlichten Bericht zur "Geschichte der Energieabteilung 1956-1960" der BASF entnommen werden.

zu Abb. 20 (S. 52)

FLUSSWASSERFÖRDERUNG DER BASF UND WASSERTEMPERATUREN DES RHEINS
(Monatswerte)

	Flußwasserförderung (1000 m^3)			Rheinwassertemperatur 1956 - 1965 x)
	1966	1967	1968	(^{o}C als arithm. Mittel, Pegel: Maxau)
Januar	64 344	65 133	68 797	3,9
Februar	63 896	60 563	65 514	3,9
März	68 898	69 129	73 500	6,4
April	69 045	70 945	77 570	9,8
Mai	74 336	78 378	81 452	13,5
Juni	73 188	77 780	87 768	17,0
Juli	79 521	90 334	100 306	19,4
August	78 124	91 057	99 330	19,3
September	79 327	81 304	94 158	17,4
Oktober	81 267	82 192	90 537	13,1
November	65 546	74 188	82 852	8,7
Dezember	65 201	72 004	79 566	5,4
	862 693	913 007	1 001 350	11,5

x) Landesamt für Gewässerkunde Rheinland-Pfalz in Mainz (Hrsg.): Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch, a.a.O., S. 214

zu Abb. 27 (S. 57)

GRUNDWASSERFÖRDERUNG DER BASF (m^3/a)			
Jahr	Flachbrunnen	Tiefbrunnen	Insgesamt
1950	1 740 000	-	1 740 000
1	1 740 000	-	1 740 000
2	2 180 000	-	2 180 000
3	2 900 000	435 000	3 335 000
4	2 900 000	870 000	3 770 000
5	2 900 000	1 305 000	4 205 000
6	2 900 000	1 740 000	4 640 000
7	2 900 000	3 045 000	5 945 000
8	2 900 000	3 480 000	6 380 000
9	3 480 000	7 300 000	10 780 000
1960	3 920 000	10 500 000	14 420 000
1	2 190 000	10 120 000	12 310 000
2	2 000 000	11 881 000	13 881 000
3	1 576 800	16 541 352	18 118 152
4	1 756 800	17 814 968	19 571 768
5	1 489 200	19 132 848	20 622 048
6	1 503 360	20 975 472	22 478 832
7	1 699 200	20 262 432	21 961 632
8	1 512 000	21 402 000	22 914 000
9	1 051 200	21 348 120	22 399 320
1970			

zu Abb. 32 (S. 65)

ANTEIL DER BASF AM TRINKWASSERVERBRAUCH DER STADT LUDWIGSHAFEN A. RH.
(Mio. m^3)

Jahr	Stadt Ludwigshafen					
	Insgesamt	davon:				
		Haushalte	Gewerbe	Sonderabnehmer		Abgabe an Stadt und Selbstverbrauch
				insgesamt	davon: BASF	
1953	6,4	3,2	0,7	1,9	1,4	0,6
1954	7,0	3,2	0,9	2,4	1,9	0,6
1955	7,5	3,4	1,0	2,5	2,1	0,6
1956	8,5	3,5	1,1	3,1	2,4	0,7
1957	9,7	4,0	0,9	3,9	3,1	0,8
1958	10,1	4,2	0,9	4,1	3,2	0,9
1959	11,7	4,8	1,0	4,7	3,6	1,1
1960	11,9	4,7	1,1	5,1	4,2	1,0
1961	12,6	5,1	1,2	5,3	4,4	1,0
1962	12,8	5,4	1,2	5,1	4,2	1,0
1963	13,4	5,6	1,4	5,4	4,5	1,0
1964	15,3	6,2	1,4	6,5	5,2	1,2
1965	14,9	5,9	1,2	6,8	5,5	1,0
1966	15,9	6,4	1,2	7,1	5,7	1,2
1967	16,4	6,4	1,3	6,9	5,5	1,8
1968	16,0	6,4	1,2	7,0	5,4	1,5
1969	17,3	6,6	1,1	7,9	6,1	1,7
1970						

zu Abb. 34 (S. 73)

DIE ENTWICKLUNG DES SPEZIFISCHEN BELEGSCHAFTSWASSER-BEDARFS DER BASF

Jahr	Trinkwasserverbrauch (Mio. m^3)	Belegschaft	Liter je Mitarbeiter und Jahr[x)]
1953	1,4	27 962	137
1954	1,9	29 956	174
1955	2,1	33 319	173
1956	2,4	36 625	180
1957	3,1	38 381	221
1958	3,2	41 135	213
1959	3,6	43 635	226
1960	4,2	46 189	249
1961	4,4	46 710	258
1962	4,2	45 030	256
1963	4,5	45 793	269
1964	5,2	47 255	301
1965	5,5	47 840	315
1966	5,7	48 148	325
1967	5,5	47 124	320
1968	5,4	46 929	316
1969	6,1	49 624	337
1970			

x) Vgl. hierzu die einschränkenden Anmerkungen im lfd. Text!

zu Abb. 35 (S. 76)

FLUSSWASSERVERBRAUCH UND UMSATZSTEIGERUNG DER BASF

Jahr	Flußwasserförderung		Umsatz der BASF AG[1)2)]	
	Mio. m^3	%	Mio. DM	%
1950	286	100	482	100
1951	334	117	679	141
1952	353	123	661	137
1953	399	140	885	183
1954	507	177	1 050	218
1955	563	197	1 261	262
1956	644	225	≈ 1 400[3)]	290
1957	706	247	1 622	336
1958	741	259	1 753	364
1959	773	270	2 054	425
1960	733	256	2 356	488
1961	712	249	2 264	469
1962	706	247	2 412	499
1963	742	259	2 649	549
1964	804	281	3 031	628
1965	772	270	3 261	676
1966	863	302	3 440	713
1967	913	319	? 670	761
1968	1 001	349	4 057	841
1969	1 066	374	4 516	939
1970				

1) Werk Ludwigshafen und BASF-Magnetbandfabrik Willstätt bei Kehl (Produktionsbeginn: Ende 1966; Umsatzbeteiligung 1968: rd. 3 %)

2) Bis einschließlich 1965 Bruttowerte ohne Preisnachlässe und zurückgewährte Entgelte. Ab 1968 ohne Umsatzsteuer.

3) Geschätzt, da im entsprechenden Geschäftsbericht nur als BASF-Gruppenumsatz (einschließlich Tochter- und Beteiligungsgesellschaften) = rd. 1,5 Mrd. DM und mit einer Steigerungsrate gegenüber dem Vorjahr von knapp 10 % angegeben.

zu Abb. 40 (S. 85)

STAUBNIEDERSCHLAG INNERHALB UND AUSSERHALB DES BASF-WERKES LUDWIGSHAFEN

(Jahresmittelwerte in g/m^2Tag

1952	2,14
1953	1,66
1954	1,20
1955	1,15
1956	1,08
1957	0,90
1958	0,87
1959	0,70 x)
1960	0,60 x)
1961	0,40
1962	0,42
1963	0,36
1964	0,34
1965	0,29
1966	0,23
1967	0,22
1968	0,17
1969	
1970	

x) Schätz (= Interpolations-) Werte

zu Abb. 110 (S. 231)

SO_2-IMMISSION INNERHALB UND AUSSERHALB DES BASF-WERKES LUDWIGSHAFEN

(Jahresmittelwerte in mg SO_2/m^3)

1961	0,13
1962	0,15
1963	0,18
1964	0,19
1965	0,16
1966	0,15
1967	0,14
1968	0,11
1969	
1970	

zu Abb. 113 (S. 233)

8 Literaturverzeichnis

1. Selbständige Bücher und Schriften

Arbeitsgemeinschaft der Länder zur Reinhaltung des Rheins (Hrsg.): Die Verunreinigung des Rheins und seiner wichtigsten Nebenflüsse in der Bundesrepublik Deutschland. Stand Ende 1965. O. O. u. J.

Arbeits- und Sozialminister des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.): Reinhaltung der Luft in Nordrhein-Westfalen. Bericht zum Kongreß Reinhaltung der Luft in Düsseldorf vom 13. bis 17. Oktober 1969. Essen 1969

Badische Anilin- & Soda-Fabrik AG (Hrsg.): Im Reiche der Chemie. Düsseldorf/Wien 1965

Bansbach, W.: Mannheim als Standort der Industrie. Diplomarbeit Mannheim 1921

Behrens, Karl Christian: Allgemeine Standortbestimmungslehre. Köln und Opladen 1961

Bürgermeisteramt von der Stadt Ludwigshafen (Hrsg.): Geschichte der Stadt Ludwigshafen am Rhein. Entstehung und Entwicklung einer Industrie- und Handelsstadt in fünfzig Jahren. 1853-1903. Ludwigshafen am Rhein 1903

Bundesgesundheitsamt, Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene: Gutachten über Luftverunreinigungen im Raum Mannheim/Ludwigshafen. Teil 1 v. 28.9.1966, Gesch.-Z.: B-B 280; Teil 2 v. 12.3.1968, Gesch.-Z.: B IV - B 60

Der Bundesminister des Innern (Hrsg.): Empfehlungen des Beirats für Raumordnung beim Bundesminister des Innern. Bonn 1968

Der Bundesminister des Innern (Hrsg.): Empfehlungen des Beirats für Raumordnung beim Bundesminister des Innern. Folge 2. Bonn 1969

Bundesministerium für Atomkernenergie und Wasserwirtschaft (Hrsg.): Die Wasserversorgung der Industrie im Bundesgebiet 1957. Als Manuskript vervielfältigt. Bad Godesberg 1960

Bundesministerium für Gesundheitswesen (Hrsg.): Die Wasserversorgung der Industrie im Bundesgebiet 1959. Als Manuskript vervielfältigt. Bad Godesberg 1963

Bundesministerium für Gesundheitswesen (Hrsg.): Die Wasserversorgung der Industrie im Bundesgebiet 1961. Als Manuskript vervielfältigt. Bad Godesberg 1965

Bundesministerium für Gesundheitswesen (Hrsg.): Die Wasserversorgung der Industrie im Bundesgebiet 1963. Als Manuskript vervielfältigt. Bad Godesberg 1966

Bundesministerium für Gesundheitswesen (Hrsg.): Die Wasserversorgung der Industrie im Bundesgebiet 1965. Bad Godesberg 1968

Bundesministerium für Wirtschaft (Hrsg.): Die Wasserversorgung der Industrie im Bundesgebiet 1951. Als Manuskript vervielfältigt. Bonn 1953

Bundesministerium für Wirtschaft (Hrsg.): Die Wasserversorgung der Industrie im Bundesgebiet 1952. Als Manuskript vervielfältigt. Bonn 1954

Bundesministerium für Wirtschaft (Hrsg.): Die Wasserversorgung der Industrie im Bundesgebiet 1955. Als Manuskript vervielfältigt. Bonn 1957

Bundesschatzministerium (Hrsg.): ERP-Kredite für die deutsche Wirtschaft. Bühl/Baden 1969

Christiansen, Carl C.: Chemische und Farben-Industrie. Tübingen 1914

Deutscher Verein von Gas- und Wasserfachmännern (DVGW) (Hrsg.): Leitsätze für die Trinkwasserversorgung. DIN 2000. Fassung Mai 1959

Deutscher Verein von Gas- und Wasserfachmänner e.V. (DVGW), Verband der Deutschen Gas- und Wasserwerke e.V. (VGW) (Hrsg.): 70. und 71. Wasserstatistik. Berichtsjahre 1958 und 1959. Frankfurt/Main 1961

Ehrenheim, Julius: Die Industrie der Pfalz in ihren Standortgrundlagen. Diss. Heidelberg 1925

Eulenberg, Jos.: Der Standort der chemischen Industrie von Mannheim-Ludwigshafen. Diss. Heidelberg 1924

Feld, Erich und Knop, Wilhelm: Technik der Abfallbeseitigung. Mainz 1967

Ferber, Kolkenbrock und Neukirchen: Müll-Anfall, Abfuhr und Beseitigung in Zahlen. Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft. Nr. 12. München 1964

Freier, Rolf: Kesselspeisewasser - Kühlwasser. Technologie - Betriebsanalyse. 2., verbesserter und erweiterte Auflage. Berlin 1963

Gerber, Friedrich Julius: Mannheim als Industrie-Standort. Diss. Heidelberg 1931

Hechelhammer, Fritz: Ludwigshafen am Rhein als Industrie-Standort. Diplomarbeit Mannheim 1922

Henglein, F.A.: Grundriß der Chemischen Technik. 11., neu bearbeitete und erweiterte Auflage. Weinheim/Bergstr. 1963

Husmann, Wilhelm: Chemische und biologische Auswirkungen der Abwasserbelastung des Rheines und Feststellung der Minderung seiner Selbstreinigungskraft. Köln und Opladen 1963 (Forschungsberichte des Landes Nordrhein-Westfalen, Nr. 1136)

Imhoff, Karl: Taschenbuch der Stadtentwässerung. 22., verbesserte Auflage. München-Wien 1969

Jacobitz, K.-H.: Die Ableitung industrieller Abwässer in öffentliche Entwässerungen und die gemeinsame Behandlung mit häuslichem Abwasser. Diss. TH Darmstadt 1965

Keller, R., Grahmann, R., Wund, W.: Das Wasserdargebot in der Bundesrepublik Deutschland. Teil II: Die Grundwasser in der Bundesrepublik Deutschland und ihre Nutzung (R. Grahmann). Remagen/Rhein 1958

Knop, W. und Teske, W.: Technik der Luftreinhaltung. Mainz 1965

Kruse, Heinrich: Einheitliche Anforderungen an die Trinkwasserbeschaffenheit und Untersuchungsverfahren in Europa. Vorschlag einer vom europäischen Büro der Weltgesundheitsorganisation einberufenen Studiengruppe. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene. Heft 14a. Stuttgart 1960

Kube, Helga: Die Industrieansiedlung in Ludwigshafen am Rhein bis 1892 (Chemie und Metallverarbeitung). Diss. Heidelberg 1962

Kurz, Hans: Die Entwicklung der chemischen Industrie von Mannheim-Ludwigshafen. Diplomarbeit Heidelberg 1945

Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) (Hrsg.): Normalanforderungen für Abwasserreinigungsverfahren. Stand 1966. Unveränderte 2. Auflage. Hamburg 1969

Lahmann, Erdwin, Morgenstern, Wolfram und Grupinski, Leonhard: Schwefeldioxid-Immissionen im Raum Mannheim/Ludwigshafen. Stuttgart 1967 (Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene Berlin-Dahlem. Band 25).

Laible, Werner: Die Entwicklung der Badischen Anilin- und Sodafabrik mit besonderer Berücksichtigung der Kriegs- und Nachkriegszeit, sowie ihre Bedeutung für die deutsche Volkswirtschaft und den deutschen Außenhandel. Diss. Erlangen 1924

Landesamt für Gewässerkunde Rheinland-Pfalz, Mainz (Hrsg.): Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch. Rheingebiet. Abflußjahr 1965. Mainz 1968

Liebmann, Hans: Handbuch der Frischwasser- und Abwasser-Biologie. Band II. München 1958

Meinck, F., Stoof, H. und Kohlschütter, H.: Industrie-Abwässer. 4., völlig neubearbeitete Auflage von Nr. 6 der Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Berlin-Dahlem. Stuttgart 1968

Meyer-Lindemann, Hans Ulrich: Typologie der Theorien des Industriestandortes. Bremen-Horn 1951

Roscher, Wilhelm: System der Volkswirtschaft. 3. Band. Stuttgart 1881

Rüschenpöhler, Hans: Der Standort industrieller Unternehmungen als betriebswirtschaftliches Problem. Berlin 1958

Schäffle, Albert: Das gesellschaftliche System der menschlichen Wirtschaft. 3. Aufl. Tübingen 1873

Schall, Horst: Die chemische Industrie Deutschlands. Nürnberg 1959

Schreck, Wolfgang: Standortbedingungen der chemischen Industrie Westdeutschlands. Diss. Graz 1956

Schworm, Klaus: Chemische Industrie. Berlin 1967

Statistisches Bundesamt, Wiesbaden (Hrsg.): Öffentliche Wasserversorgung und öffentliches Abwasserwesen 1963. Fachserie D, Reihe 5, III. Stuttgart und Mainz 1966

Statistisches Bundesamt, Wiesbaden (Hrsg.): Wasserversorgung der Industrie 1965. Fachserie D, Reihe 5, II. Stuttgart und Mainz 1968

Statistisches Bundesamt, Wiesbaden (Hrsg.): Regionale Verteilung der Industriebetriebe und deren Beschäftigte nach Industriegruppen. September 1966. Fachserie D, Reihe 4. Stuttgart und Mainz 1968

Straub, Hans: Die Beseitigung der festen Abfallstoffe von Gemeinden und der Industrie. Gutachten für das Bundesministerium für Atomkernenergie, Bad Godesberg. Vervielfältigtes Manuskript. O. O. 1961

U. S. Department of Health, Education, and Welfare. Public Health Service: Air quality criteria for sulfur oxides. Washington, D. C., March 1967

U. S. Department of Health, Education, and Welfare. Public Health Service: Air quality criteria for sulfur oxides. Washington, D. C., January 1969

Vereinigung der Großkesselbesitzer e. V. (VGB) (Hrsg.): Richtlinien für die Aufbereitung von Kesselspeisewasser und Kühlwasser. 5., neubearbeitete Auflage. Essen 1958

Weber, Alfred: Über den Standort der Industrien. 1. Teil: Reine Theorie des Standorts. Tübingen 1909

2. Beiträge in Sammelwerken

Eigenbrodt, Arnold: Entwicklungstendenzen in der Wasserversorgung der Bevölkerung. In: Kongreß und Ausstellung Wasser Berlin e. V. (Hrsg.): Kongreß und Ausstellung Wasser Berlin 1968. Vorträge. Berlin 1969

Ferber, Michael: Menge der festen Abfallstoffe. In: Kumpf, W., Maas, K. und Straub, H. (Hrsg.): Handbuch der Müll- und Abfallbeseitigung. Band 1. Berlin, Ausgabe 1969/70. Kennzahl 1740

Horak, Hans: Die Ludwigshafener Wirtschaft. In: Stadtverwaltung Ludwigshafen am Rhein (Hrsg.): Ludwigshafen am Rhein - Stadt der Chemie. Hanau 1963

Klotter, Hans-Erich und Langer, Wilhelm: Beispiele von Grundwasserverunreinigungen. In: Kumpf, W., Maas, K. und Straub, H. (Hrsg.): Handbuch der Müll- und Abfallbeseitigung. Band 1. Berlin, Ausgabe 1969/70, Kennzahl 4515

Kolkenbrock, Bernhard: Müllabfuhr 1965. In: Deutscher Städtetag (Hrsg.): Statistisches Jahrbuch Deutscher Gemeinden. 54. Jg., Braunschweig 1966

Isenberg, Gerhard: Ballungsgebiete in der Bundesrepublik Deutschland. In: Handwörterbuch der Raumforschung und Raumordnung. Hrsg. von der Akademie für Raumforschung und Landesplanung. Hannover 1966

Moser, Heinz: Hydrologische Untersuchungen im Oberrheintal (Ballungsraum Rhein-Neckar). In: Verein Kongreß und Ausstellung Wasser Berlin e.V. (Hrsg.): Festschrift zu Kongreß und Ausstellung Wasser Berlin 1968. München o.J. (1968)

Neuwirth, Robert: Die Aerosolverhältnisse im Modellraum. In: Die Ansprüche der modernen Industriegesellschaft an den Raum. 1. Teil. Hannover 1967 (Forschungs- und Sitzungsberichte der Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Band XXXIII)

Ploetz, Theodor: Wasser in der Industrie. In: Kongreß und Ausstellung Wasser Berlin e.V. (Hrsg.): Kongreß und Ausstellung Wasser Berlin 1968. Vorträge. Berlin 1969

Schrewe, Heinrich: Entwicklungstendenzen in der Wasserversorgung gewerblicher Betriebe. In: Kongreß und Ausstellung Berlin e.V. (Hrsg.): Kongreß und Ausstellung Wasser Berlin 1968. Vorträge.

Winter, Heinz: Bewährte Verfahren der neuzeitlichen Wasseraufbereitung für Haushalt und Industrie. In: Hübner, H. (Hrsg.): Wasser-Kalender 1968. Jahrbuch für das gesamte Wasserfach. Berlin 1967

Wurzschmitt, Bernhard: Die Industrie und das Abwasserproblem. In: Verband der Chemischen Industrie e.V., Frankfurt/M. (Hrsg.): Wasserprobleme ? Diskussionsbeiträge aus dem Gebiet der Wasserwirtschaft und des Wasserrechts. Folge 2. O.O. 1956

3. Beiträge in Zeitschriften und Zeitungen

Adam, Robert: Probleme der Müllbeseitigung in USA. In: Wasser, Luft und Betrieb. 12. Jg., Nr. 3/1968

Bansemir, R.: Standortfaktoren der Chemischen Industrie. In: Statistische Rundschau für das Land Nordrhein-Westfalen. 2. Jg., Nr. 9/1950

Behrens, Karl Christian: Bedeutungswandel der Faktoren. In: Der Volkswirt. 20. Jg., Nr. 14/1966

Birkhofer, A., Braun, W. Koch, E.H., Kellermann, O., Lindackers, K.H. und Smidt, D.: Reaktorsicherheit in der Bundesrepublik Deutschland. In: Atomwirtschaft. 15. Jg., Nr. 9/10/1970

Bucksteeg, Wilhelm: Abfalldeponien und ihre Auswirkungen auf Grund- und Oberflächenwasser. In: Das Gas- und Wasserfach. 110. Jg., Nr. 20/1969

Der Bundesminister für Arbeit und Sozialordnung (Hrsg.): MAK-Werte 1966. In: Arbeitsschutz. O. Jg., Nr. 9/1966

Caro, H.: Über die Entwicklung der chemischen Industrie von Mannheim-Ludwigshafen a. Rh. In: Zeitschrift für angewandte Chemie. 17. Jg., Nr. 37/1904

Dittrich, Viktor: Eräuterungen und Begriffsbestimmungen bei der Abwasserbehandlung. In: Wasser, Luft und Betrieb. 11. Jg., Nr. 8/1967 und Nr. 11/1967

Dratwa, Heinrich: Verminderung und Beseitigung staub- und gasförmiger Emissionen. In: Wasser, Luft und Betrieb. 13. Jg., Nr. 5/1969

Engelhardt, H. und Haltrich, W.: Vorarbeiten für die Gemeinschaftskläranlage der BASF und der Stadt Ludwigshafen am Rhein. In: Chemie-Ingenieur-Technik. 40. Jg., Nr. 6/1968

Finkbeiner, Fritz: Organisation und Kosten der Abfallbeseitigung. In: V.I.K.-Berichte. Nr. 163/1966

Frank, B.: Erfahrungen mit der Verbrennung von Industrie-Abfällen in der BASF. In: Chemie-Ingenieur-Technik. 36. Jg., Nr. 11/1964

Heinicke, D.: Möglichkeiten und Grenzen der biologischen Reinigung von Abwässern der chemischen Industrie. In: Chemie-Ingenieur-Technik. 39. Jg., Nr. 4/1967

Herold, Georg: Die steuerlichen Abschreibungsmöglichkeiten für Abwasserbehandlungsanlagen. In: Die Wasserwirtschaft. 55. Jg., Nr. 7/1965

Der Hessische Minister für Landwirtschaft und Forsten, Abt. Landeskultur und Wasserwirtschaft, Wiesbaden: Jahresbericht der Wasserwirtschaft, Rechnungsjahr 1965, Einzelmaßnahmen: Die Abwasserbehandlungsanlage der Firma E. Merck AG, Darmstadt. In: Wasser und Boden. 18. Jg., Nr. 6/7/1966

Holluta, J., Bauer, L. und Kölle, W.: Über die Einwirkung steigender Flußwasserverschmutzung auf die Wasserqualität und die Kapazität der Uferfiltrate. In: gwf (Wasser-Abwasser). 109. Jg., Nr. 50/1968

Jäger, Bernhard und Haltrich, Walter: Erfahrungen mit dem Betrieb von Versuchsanlagen zur biologischen Reinigung industrieller Abwässer nach dem Belebtschlammverfahren. In: Das Gas- und Wasserfach. 104. Jg., Nr. 36/1963

Jaeschke, L. und Trobisch, K.: Halbtechnische biologische Abwasserbehandlung Kohlenwasserstoff-haltiger Produktionsabwässer. In: Chemie-Ingenieur-Technik. 38. Jg., Nr. 3/1966

Johnson, Warren B.: Lidar applications in air pollution research and control. In: J. Air Pollution Control Association. Vol. 19, Nr. 3/1969

Keune, H.: Die Abwasserwirtschaft der Chemischen Industrie und die Wasserrechtsordnung der BRD. In: Chemie-Ingenieur-Technik. 40. Jg., Nr. 6/1968

Klotter, Hans-Erich: Abfallbeseitigung und Grundwasserschutz. In: Müll und Abfall. 1. Jg., Nr. 1/1969

Kludig, Karl Heinz: Ermittlung des Anteils von Uferfiltrat bei Mischgrundwasser. In: gwf (Wasser-Abwasser). 111. Jg., Nr. 2/1970

Knoll, E.: Planung der Müllverbrennungs- und Müllsinteranlage Berlin-Ruhleben. In: Mitteilungen der Vereinigung der Großkesselbesitzer (VGB). 45. Jg., Nr. 96/1965

Kölbel, Herbert und Schultze, Joachim: Die Entwicklung der Betriebswirtschaftslehre der chemischen Industrie (1. und 2. Teil). In: Betriebswirtschaftliche Forschung und Praxis. 16. Jg., Nr. 1 und 2/1964

Koppernock, F.: Reinigung stark wechselnder Abwässer der pharmazeutischen Chemie bei der Merck AG. In: Chemie-Ingenieur-Technik. 40. Jg., Nr. 6/1968

Krolewski, Harry: Die künstliche Erwärmung des Flußwassers und deren Auswirkungen. In: Die Wasserwirtschaft. 57. Jg., Nr. 8/1967

Kroner, Günter: Die Stadtregion Mannheim-Ludwigshafen. In: Informationen (Institut für Raumforschung). 15. Jg., Nr. 10/1965

Kroner, Günter: Wasserwirtschaftliche Probleme in Ballungsräumen. In: Informationen (Institut für Raumforschung). 16. Jg., Nr. 2/1966

Lang, Maximilian: Die Wasserversorgung des industriellen Betriebes vom Blickpunkt energiewirtschaftlicher Belange (Teil 1 und 2). In: Wasser, Luft und Betrieb. 6. Jg., Nr. 1/1962 und 2/1962

Launhardt, Wilhelm: Die Bestimmung des zweckmäßigsten Standorts einer gewerblichen Anlage. In: Zeitschrift des VDI. Jg. 1882

Maier, Eberhard: Müllverbrennung mit Wärmeverwertung. In: Neue Kraftwerke in der Bundesrepublik. Handelsblatt - die technische Linie. 22. Jg., Nr. 8 v. 19.2.1969 (Beilage zum Handelsblatt, 24. Jg., Nr. 35 v. 19.2.1969)

Matthess, Georg: Das Grundwasser inder östlichen Vorderpfalz zwischen Worms und Speyer. In: Mitteilungen der Pollichia des Pfälzischen Vereins für Naturkunde und Naturschutz. III. Reihe. 5. Band. 119. Vereinsjahr 1958

Muskat, J.: Grundprinzipien der biologischen Abwasserreinigung. In: Chemie-Ingenieur-Technik. 39. Jg., Nr. 4/1967

Odenthal, A. und Spangemacher, K.: Der Kühlturm im Dampfkraftprozeß. In: BWK (Brennstoff-Kraft-Wärme). 11. Jg., Nr. 12/1959

Peters, Karl-Heinz: Der Aussagewert richtungsabhängiger SO_2-Konzentrationen. In: Städtehygiene. 20. Jg., Nr. 10/1969

Pieper, B.: Emissionen und Verbrennungsrückstände aus Dampfkraftwerken im Jahre 1965. In: Mitteilungen der Vereinigung der Großkesselbesitzer. Heft 108/1967

Platz, R. u.a.: Verfahren zur Herstellung petrochemischer Grundstoffe (II). In: Chemische Industrie. 22. Jg., Nr. 1/1970

Powell, S.T. und von Lossberg, L.G.: Relation of Water Supply to Chemical Plant Location. In: Chemical Engineering Progress. Vol. 45, Nr. 5/1949

Quidde, Fritz: Das Problem der Müllablagerungsflächen. In: Informationen (Institut für Raumforschung). 15. Jg., Nr. 7/1965

Rasch, R.: Müll- und Abfallverbrennung. In: Chemiker-Zeitung/Chemische Apparatur. 93. Jg., Nr. 10/1969

Riebel, Paul: Mechanisch-technologische und chemisch-technologische Industrien in ihren betriebswirtschaftlichen Eigenarten. In: Zeitschrift für handelswissenschaftliche Forschung. Neue Folge. 6. Jg., Nr. 9/1954

Robel, Franz: Die Reinhaltung der Luft - eine lebenswichtige Aufgabe. In: Wasser und Abwasser. O.Jg., Nr. 7/1969

v. Schlippenbach, Graf Stefan: Abfallsäure ins Meer - Entsalzung des Rheins. In: Technik und Forschung. 21. Jg., Nr. 48/1968

Schwarzmann, Herbert: War die Tullasche Oberrheinkorrektion eine Fehlleistung im Hinblick auf ihre Auswirkungen? In: Die Wasserwirtschaft. 54. Jg., Nr. 10/1964

Stratmann, H. Buck, M. und Prinz, B.: Maßstäbe für die Begrenzung der Luftverunreinigung und ihre Bedeutung. In: Schriftenreihe der Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungschutz des Landes Nordrhein-Westfalen in Essen. Heft 12/1968

Streibel, Günter: Die Bedeutung der Gebietsressource Wasser für die perspektivische Standortverteilung der Produktivkräfte in der DDR. In: Wissenschaftliche Zeitschrift der Hochschule für Ökonomie, Berlin-Karlshorst. 11. Jg., Nr. 2/1966

Teske, Wolfgang: Abwasserreinigung in der chemischen Industrie als technische und wirtschaftliche Integrationsaufgabe. In: Wasser, Luft und Betrieb. 12. Jg., Nr. 3/1968

Teske, Wolfgang: Luftreinhaltung in der Chemischen Industrie. In: Zentralblatt für Arbeitsmedizin und Arbeitsschutz. Band 19. Nr. 10/1969

Timm, B.: Wettbewerb zwischen Kohle und Erdöl bei der Rohstoffversorgung der chemischen Großindustrie. In: Chemie-Ingenieur-Technik. 40. Jg., Nr. 1/2/1968

Trobisch, K. und Bauer, A.: Großanlage der Farbwerke Hoechst AG zur biologischen Reinigung von Betriebsabwässern. In: Chemie-Ingenieur-Technik. 40. Jg., Nr. 6/1968

Viehl, K.: Über den Einfluß der Temperatur auf die biologischen Umsetzungen im Wasser und Schlamm unter besonderer Berücksichtigung der Wirkung von Warmwassereinleitungen auf Vorfluter. In: Gesundheits-Ingenieur. 71. Jg., Nr. 21/22/1950

Vogel, H. E.: Lufthygieneprobleme in Westeuropa und den USA. In: Plan. 27. Jg., Nr. 1/1970

Weber, Hans H. und Mersch, F.: Vorarbeiten zur Gemeinschaftskläranlage der Farbenfabriken Bayer AG und des Wupperverbandes. In: Chemie-Ingenieur-Technik. 40. Jg., Nr. 6/1968

Werth, H.: Das Bayer-Doppelkontaktverfahren. In: Wasser, Luft und Betrieb. 9. Jg., Nr. 3/1965

Wilck, A.-F.: Gesichtspunkte für Bau und Betrieb von Kernkraftwerken zur Prozeßdampferzeugung. In: Atomwirtschaft. 14. Jg., Nr. 8/1969

Wurzschmitt, Bernhard: Wie können wir die Abwässer reinigen? In: Wasserwirtschaft. Beilage zur Der Volkswirt. Nr. 18/1955

o.V.: Die deutschen Kernkraftwerksprojekte. In: Atomwirtschaft. 15. Jg., Nr. 4/1970

o.V.: Neue deutsche Kernkraftwerke - Anlagen in Bau. In: Atomwirtschaft. 15. Jg., Nr. 4/1970

o.V.: Neue Wege zur Abluft- und Abwasserreinigung in Hoechst. In: Chemie-Ingenieur-Tecznik. 37. Jg., Nr. 10/1965

o.V.: Neue Standorte der deutschen Großchemie. In: Chemie-Ingenieur-Technik. 40. Jg., Nr. 12/1968

o.V.: Es tut sich viel bei Schwefelsäure. In: Chemische Industrie. 21. Jg., Nr. 10/1969

o.V.: Erdgas ist schwefelfrei. In: Die technische Linie. 22. Jg., Nr. 43 v. 15.10.1969 (Beilage zu Handelsblatt. 24. Jg., Nr. 198 v. 15.10.1969)

o.V. (hd.): Luftreinhaltung - Neuer Hauptsünder. In: Der Volkswirt. 18. Jg., Nr. 19/1964

o.V. (H.W.H.): Gemeinschaftswerk zur Reinhaltung von Rhein und Wupper. In: Wasser, Luft und Betrieb. 10. Jg., Nr. 9/1966

o.V.: Chemische Industrie und Kohlenwertstoffgewinnung. In: Wirtschaftliche Mitteilungen der Niederrheinischen Industrie- und Handelskammer Duisburg-Wesel zu Duisburg. Sonderdruck Oktober 1969

o.V. (Sr.): Stets auf der Suche nach Kühlmitteln. In: Zeitung für kommunale Wirtschaft (ZfK). O. Jg., Nr. 9/1969

o.V. (GB): Kühlen wird kostspielig. In: Zeitung für Kommunale Wirtschaft (ZfK). O.Jg., Nr. 5/1970

4. Nachschlagewerke

Amt für Stadtforschung, Statistik und Wahlen der Stadt Ludwigshafen am Rhein (Hrsg.): Statistisches Jahrbuch der Stadt Ludwigshafen am Rhein 1967

Auergesellschaft GmbH (Hrsg.): Auer-Technikum. 5. Auflage. Berlin 1967

Foerst, Wilhelm (Hrsg.): Ullmanns Encyklopädie der technischen Chemie. Dritte, völlig neu gestaltete Auflage. Band 1: Chemischer Apparatebau und Verfahrenstechnik. München-Berlin 1951

Sprenger, Eberhard (Hrsg.): Recknagel - Sprenger. Taschenbuch für Heizung, Lüftung und Klimatechnik. 54. Ausgabe. München - Wien 1966

VDI-Kommission Reinhaltung der Luft (Hrsg.): VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft. Stand 1.10.1969. Band 1 und 4. VDI 2105, 2106, 2107, 2108 und 2119

5. Gesetze und Verordnungen

Reichsnaturschutzgesetz v. 26.6.1935 (RGBl I S. 821)

Gesetz über die Statistik für Bundeszwecke (StatGes) v. 3.9.1953 (BGBl I S. 1314)

Gesetz über die Allgemeine Statistik in der Industrie und im Bauhauptgewerbe v. 15.7.1957 (BGBl I S. 720) in der Fassung v. 26.4.1961 (BGBl I S. 477), zuletzt geändert durch die Fassung v. 24.4.1963 (BGBl I S. 202)

Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz) v. 27.7.1957 (BGBl I S. 1110)

Gesetz zur Änderung der Gewerbeordnung und Ergänzung des Bürgerlichen Gesetzbuches v. 22.12.1959 (BGBl I S. 781)

Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz) v. 23.12.1959 (BGBl I S. 814)

Bundesbaugesetz v. 23.6.1960 (BGBl I S. 341)

Landeswassergesetz Rheinland-Pfalz v. 1.8.1960 (GVBl S. 153)

Gesetz über Detergentien in Wasch- und Reinigungsmitteln v. 5.9.1961 (BGBl I S. 1653)

Gesetz zur Verhütung und Bekämpfung übertragbarer Krankheiten beim Menschen (Bundes-Seuchen-Gesetz) v. 18.7.1961 (BGBl I S. 1012)

Raumordnungsgesetz des Bundes v. 8.4.1965 (BGBl I S. 306)

Gesetz über Vorsorgemaßnahmen zur Luftreinhaltung v. 17.5.1965 (BGBl I S. 413)

Immissionsschutzgesetz Rheinland-Pfalz v. 28.7.1966 (GVOBl S. 211)

Gesetz über Maßnahmen zur Sicherung der Altölbeseitigung (Altölgesetz) v. 23.12.1968 (BGBl I S. 1419)

Gesetz über die Gewährung von Investitionszulagen und zur Änderung steuerrechtlicher und prämienrechtlicher Vorschriften (Steueränderungsgesetz 1969) v. 18.8.1969 (BGBl I S. 1211)

Einkommensteuergesetz (EStG 1969) v. 12.12.1969 (BGBl I S. 2265)

Verordnung über das Verfahren bei der Genehmigung von Anlagen nach § 7 des Atomgesetzes (Atomanlagen-Verordnung) v. 20.5.1960 (BGBl I S. 310)

Erste Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Strahlen radioaktiver Stoffe (Erste Strahlenschutzverordnung) v. 24.6.1960 (BGBl I S. 430)

Verordnung über genehmigungspflichtige Anlagen nach § 16 der Gewerbeordnung v. 4.8.1960 (BGBl I S. 690)

Verordnung über die Abbaubarkeit von Detergentien in Wasch- und Reinigungsmitteln v. 1.12.1962 (BGBl I S. 698)

Einkommensteuer-Durchführungsverordnung (EStDV 1969) in der Fassung der VO vom 21.4.1970 (BGBl I S. 373)

Allgemeine Verwaltungsvorschriften über genehmigungsbedürftige Anlagen nach § 16 der Gewerbeordnung (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft) v. 8.9.1964 (GMBl S. 433)

6. Sonstige Quellen

Arbeitsgemeinschaft für industrielle und gewerbliche Abfallfragen (AfiA) (Hrsg.): Merkblatt G 7. Die geordnete und kontrollierte Ablagerung von industriellen und gewerblichen Abfällen. O.O. u. J.

Der Bundesminister des Innern (Hrsg.): Raumordnungsbericht 1968 der Bundesregierung v. 12.3.1969. Bundestagsdrucksache V/3958

Bundesministerium für Wirtschaft - Hydrogeologischer Arbeitskreis (Hrsg.): Hydrogeologische Übersichtskarte 1 : 500 000. Erläuterungen zu Blatt Stuttgart. Bearbeitet von W. Carlé und D. Pfeiffer. Remagen 1952

Danz, Willi: Darlegung und Begründung des Projekts zur Errichtung eines Kernkraftwerks im Verbund mit der BASF in Ludwigshafen. Vortrag einer Veranstaltung der Industrie- und Handelskammer für die Pfalz, Ludwigshafen a. Rh. am 3.6.1969 (BASF-Sonderdruck)

Hunken, H.: Stand der Realisierung von Abwasserreinigungs- und Wasserkreislaufanlagen bei der Industrie in Deutschland. Vortrag der Fachtagung Pro Aqua 69 in Basel am 28.5.1969

Statistisches Bundesamt, Institut für Landeskunde, Institut für Raumforschung (Hrsg.): Die Bundesrepublik Deutschland in Karten. Kartenblatt 4311/3 (Beschäftigte in der chemischen Industrie und in der Mineralölverarbeitung in den kreisfreien Städten und Landkreisen). Mainz o.J.

Teske, Wolfgang: Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung in der Chemischen Industrie in Deutschland. Vortrag der Fachtagung Pro Aqua 69 in Basel am 30.5.1969

Beuth-Vertrieb: DIN 4045: Abwasserwesen (Fachausdrücke und Begriffsklärungen). Berlin und Köln 1964

Beuth-Vertrieb: DIN 4046: Wasserversorgung (Fachausdrücke und Begriffserklärungen). Berlin und Köln 1960

Beuth-Vertrieb: DIN 4049: Gewässerkunde (Fachausdrücke und Begriffsbestimmungen, Teil I: quantitativ). Berlin und Köln 1954

Beuth-Vertrieb: DIN 4049: Gewässerkunde (Fachausdrücke und Begriffserklärungen, Teil II: qualitativ). Berlin und Köln 1960

Haus- bzw. Werkzeitschriften der BASF AG:

"Vereinsblatt der Badischen Anilin- & Soda-Fabrik Ludwigshafen a. Rh.", 1. Jg., 1913 ff.

"Werkzeitung der Badischen Anilin- & Soda-Fabrik Ludwigshafen a. Rh.", 6. Jg., 1918 ff.

"Werkzeitung der I.G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft, Ludwigshafen a. Rh.", 14. Jg., 1926 ff.

"Von Werk zu Werk", 24. Jg., 1935 ff.

"Die BASF", 1. Jg., 1951 ff.

"BASF-Nachrichten", o.Jg., 1951 ff.

"BASF-Information", o.Jg., 1968 ff.

Broschüre "Erzeugnisse der BASF". Ausgabe Dezember 1967

Broschüre "Daten und Fakten" (BASF). Ausgabe 1970

Broschüre "Kernkraftwerk der BASF". O.J. (1970)

Historisches und unveröffentlichtes Quellenmaterial der BASF, wie insbesondere Voigtländer-Tetzner, Walter: Geschichte der BASF 1865 - 1914. O.J. und ders.: Chronik der BASF 1965 - 1939. O.J. sowie zur "Geschichte der Energieabteilung 1865 - 1960", "Geschichte der Abteilung Verkehrswesen 1939 - 1960" und "Bedeutung der BASF für die Volkswirtschaft 1865 - 1914".

Geschäftsberichte der BASF AG 1952 ff.

Lebenslauf

Hans-Jürgen Geßner,	geboren am 10. 7. 1936 in Erfurt als Sohn des Industriekaufmanns Ludwig Geßner und seiner Ehefrau Herta Geßner, geb. van Bergen.
Schule:	7. 6. 1955 Reifeprüfung an der Heinrich-Mann-Oberschule, Erfurt.
	15. 9. 1956 Anerkennungsprüfung zum Reifezeugnis der Heinrich-Mann-Oberschule, Erfurt, in Berlin (West).
Universität:	WS 1956 - SS 1967 Studium der Betriebswirtschaft an der Freien Universität Berlin. Abschluß: Diplomprüfung für Betriebswirte am 17. 2. 1965.
	Mündliche Doktorprüfung (Dr. rer. pol.) am 19. 2. 1971 an der Freien Universität Berlin.
Praktische Ausbildung:	1. 11. 1956 - 30. 4. 1957 kaufmännischer Hochschulpraktikant der AEG-Turbinenfabrik, Berlin.
	1. 11. 1958 - 30. 4. 1959 kaufmännischer Hochschulpraktikant der AEG-Turbinenfabrik, Berlin.
Berufliche Tätigkeiten:	24. 11. 1955 - 29. 8. 1956 Tätigkeit bei der Deutschen Post, Hauptpostamt Erfurt.
	1. 9. 1957 - 31. 12. 1961 mit studienbedingten Unterbrechungen 15monatige Tätigkeit als kaufmännischer Werkstudent der AEG-Turbinenfabrik bzw. AEG-Fabriken Brunnenstraße, Berlin.
	1. 3. 1964 - 30. 9. 1964 studentische Hilfskraft am Institut für Markt- und Verbrauchsforschung der Freien Universität Berlin.
	1. 3. 1965 - 30. 9. 1966 Forschungsassistent am Institut für Markt- und Verbrauchsforschung der Freien Universität Berlin.
	1. 10. 1966 - 31. 3. 1967 wissenschaftlicher Tutor an der Wirtschafts- und Sozialwissenschaftlichen Fakultät der Freien Universität Berlin.
	Ab 1. 4. 1967 wissenschaftlicher Assistent am Institut für Markt- und Verbrauchsforschung der Freien Universität Berlin. (Direktor: Prof. Dr. Karl Christian Behrens)